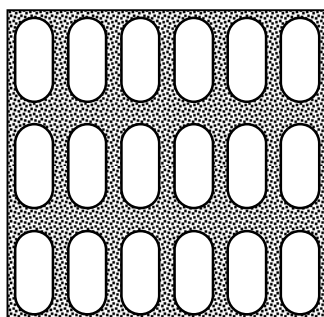
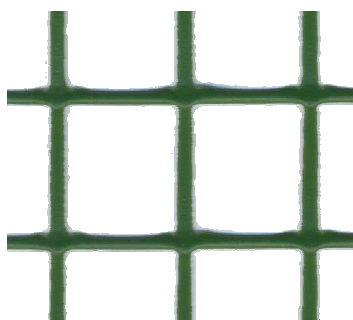


*И. О. Микулёнок
А. Д. Петухов*

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК



***И. О. Микулёнок
А. Д. Петухов***

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

Монография

Киев
НТУУ «КПИ»
2016

УДК [678.02+678.05]-427.5
ББК 35.710
М59

*Рекомендовано к печати Учёным советом
Национального технического университета Украины
«Киевский политехнический институт»
(Протокол № 5 от 11.04.2016 г.)*

Рецензенты: *А. Н. Гавва*, д-р техн. наук, проф.,
Национальный университет пищевых технологий
А. С. Парфенюк, д-р техн. наук, проф.,
Донецкий национальный технический университет

Микулёнок И.О.

М59 Производство полимерных сеток [Текст] : монография / И. О. Микулёнок, А. Д. Петухов. – К.: НТУУ «КПИ», 2016. – 72 с.: илл. – Библиогр.: с. 65–69. – 300 экз. (на рус. языке)
ISBN 978-966-622-758-7

В монографии рассмотрены основные виды и области применения полимерных сеток, дан анализ способов и устройств для их получения, приведено описание технологических линий для производства сеток из различных полимерных материалов. Приведены рекомендации по рациональному ведению технологических процессов изготовления полимерных сеток, а также армированной сеткой рукавной плёнки из полиэтилена высокого давления марки 15803–020.

Для инженерно-технических работников предприятий, научно-исследовательских институтов и проектных организаций, занимающихся переработкой пластмасс и разработкой соответствующего оборудования. Также монография может быть полезна для студентов высших технических учебных заведений.

УДК [678.02+678.05]-427.5
ББК 35.710

ISBN 978-966-622-758-7

© И. О. Мікульонок,
А. Д. Петухов, 2016
© НТУУ «КПІ», ІХФ, 2016

ВВЕДЕНИЕ

Стабильный в последние десятилетия рост выпуска объёма и ассортимента полимеров и пластических масс ставит большие задачи перед промышленностью, занимающейся их переработкой, требует выбора наиболее рациональных методов переработки, а также создания соответствующего высокопроизводительного и высокоэффективного оборудования для изготовления из полимерных материалов различных изделий [22, 24, 89, 90].

Одним из наиболее универсальных методов переработки полимеров и пластмасс в изделия является экструзия [15, 16, 19–25, 92, 93, 95, 99]. Традиционными стали такие виды экструзионных изделий как рукавные и плоские полимерные плёнки, трубы и шланги, профильные, листовые и рулонные материалы. Наряду с этими материалами в последние годы широкое распространение получают полимерные сеточные материалы.

Полимерные сетки – это гибкие полотна в виде перекрещивающихся элементов (нитей, стренг, полос), образующих преимущественно равномерную по форме и размеру ячеистую структуру. Их изготавливают различными методами, но наибольшее распространение при этом получили сетки, изготавливаемые экструзионным, экструзионно-каландровым или вальцово-каландровым методами, позволяющими получать готовые изделия непосредственно из расплава полимерного материала, минуя стадию получения отдельных элементов будущего сеточного изделия.

Благодаря высоким физико-механическим и эксплуатационным свойствам, низкой материалоемкости и стоимости, относительно простой технологии изготовления полимерные сетки широко применяют в различных отраслях экономики и в быту, при этом потребность в них непрерывно растёт. Основными функциями полимерных сеток являются защитная, армирующая, декоративная и хозяйственная.

В отличие от металлических полимерные сетки не требуют дополнительной покраски, они удобны в установке и демонтаже, практически не подвержены действию атмосферных осадков и химических веществ. Также разорванная полимерная сетка, в отличие от металлической, не представляет опасности для человека, животных и птиц, т.к. её повреждённые края не являются травмоопасными. Наконец, в большинстве случаев полимерные сетки – это надёжность, практичность и экономичность.

Результаты проведенных исследований технологии, процессов и оборудования производства полимерных сеток стали научной основой разработки и внедрения рекомендаций по выбору принципиальных схем, проектирования и изготовления оборудования, а также определения рациональных режимов его эксплуатации (Украинский научно-исследовательский институт по разработке машин и оборудования по переработке пластических масс, резины и искусственной кожи – УкрНИИпластмаш, г. Киев).

ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

НПО	– научно-производственное предприятие (при названии учреждения);
НТУУ «КПИ»	– Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»;
ОАО	– открытое акционерное общество (при названии учреждения);
ПВХ	– поливинилхлорид;
ПЭ	– полиэтилен;
ПЭВД	– полиэтилен высокого давления;
ПЭНД	– полиэтилен низкого давления;
ПП	– полипропилен;
ТпМ	– термопластичный материал;
УкрНИИпластмаш	– Украинский научно-исследовательский институт по разработке машин и оборудования для переработки пластических масс, резины и искусственной кожи.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

1.1. Классификация полимерных сеток

С учётом различных признаков полимерных сеток их можно классифицировать следующим образом (рис. 1.1):

- по назначению: упаковочные, армирующие, защитные, рыболовецкие, геосетки, универсальные и др.;

- по материалу: полиэтиленовые, полипропиленовые, полиамидные, поливинилхлоридные, полиэфирные;

- по способу соединения элементов сетки между собой: со взаимопроникновением элементов в местах их пересечения; с термосваркой элементов на дорне после выхода их из экструзионной головки; с термосваркой готовых (предварительно отформованных, охлаждённых и намотанных на оправку) элементов после их переплетения между собой (без образования узлов и мест скрутки); сетки, полученные сплетением элементов между собой (делятся на узловые сетки и скрученные безузловые);

- по виду соединения элементов между собой: безузловые, плетеные, скрученные, вязанные;

- по геометрии сетки как изделия: плоские и рукавные;

- по геометрии полотна сетки: двумерные (плоские) и трёхмерные (объёмные);

- по форме ячейки сетки: ромбические, прямоугольные (в том числе квадратные), шестиугольные, овальные, треугольные, в виде параллелограмма, а также плетёные сетки с нулевыми ячейками (при отсутствии живого сечения сетки, т.е. при нулевом отношении площади ячеек в свету ко всей площади сетки);

- по количеству слоёв полотна сетки: одно-, двух- и многослойные сетки;

- по форме элементов сетки (стренг, нитей) в поперечном сечении: круглые, полукруглые и плоские; плоские в свою очередь можно разделить на овальные и прямоугольные (в том числе квадратные); последние же в зависимости от ориентации длинной стороны полосовых элементов сетки могут образовывать сетки лёгкого типа (при продольном расположении длинной стороны полосовых элементов сетки относительно плоскости полотна сетки) и сетки тяжёлого типа, или решётки, обычно известные также как георешётки, поскольку такие сетки наибольшее распространение получили при выполнении грунтовых работ (при поперечном расположении длинной стороны полосовых элементов сетки относительно плоскости полотна сетки);

- по форме и/или размеру ячеек: моноклетчатые с ячейками одинаковых формы и размеров, биклетчатые с двумя типами ячеек различных формы и размеров, а также поликлетчатые;

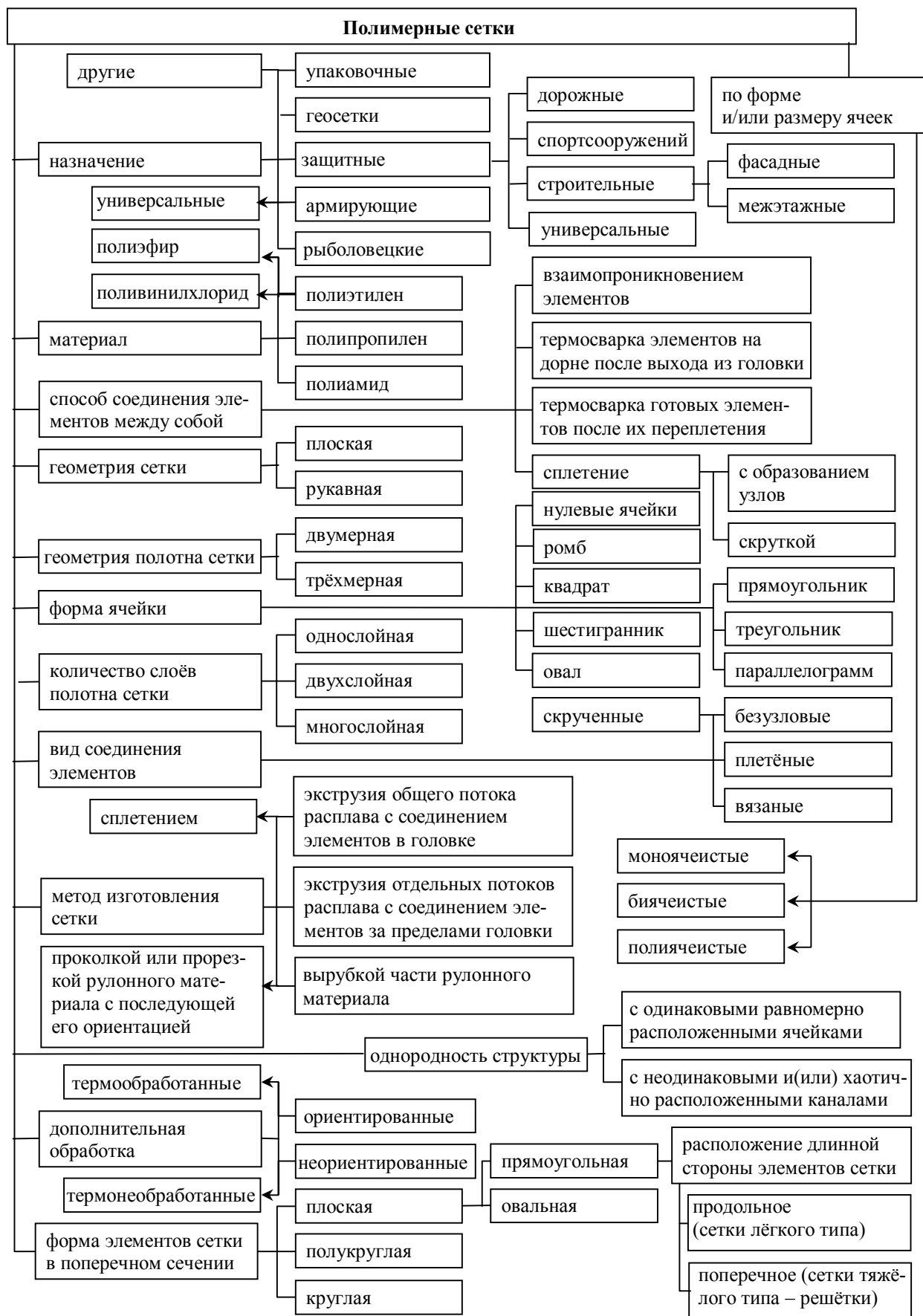


Рис. 1.1. Классификация полимерных сеток

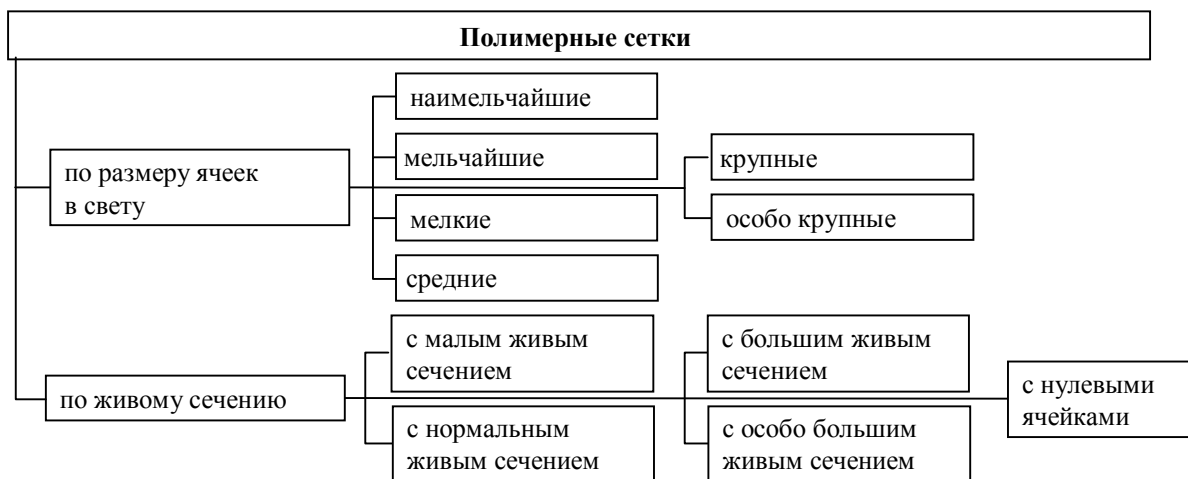


Рис. 1.1: Окончание. (См. также с. 6)

- по однородности структуры: с одинаковыми равномерно расположенными ячейками; с неодинаковыми и/или хаотично расположенными каналами;
- по методу изготовления сетки: одновременная экструзия отдельных элементов сетки с их соединением в головке; одновременная экструзия отдельных элементов сетки с их соединением на дорне за пределами головки; формирование ячеек вырубкой части рулонного материала; формирование ячеек проколкой или прорезкой рулонного материала с последующей его двухосной ориентацией; экструзия плёнки, её ориентация, разрезание плёнки на элементы с последующим сплетением (связыванием) элементов между собой; экструзия элементов, их охлаждение, намотка на оправки, размотка элементов с оправок и сплетение (связывание) элементов между собой;
- по виду дополнительной обработки: ориентированные и неориентированные, термообработанные и термонеобработанные.

По аналогии с металлическими сетками (см., например, <https://www.metalika.ua/book/export/html/347066>) полимерные сетки можно также классифицировать:

- по размеру ячеек в свету на наимельчайшие (с площадью ячейки в свету до $0,025 \text{ мм}^2$), мельчайшие (свыше $0,025$ до $0,25 \text{ мм}^2$), мелкие (свыше $0,25$ до 1 мм^2), средние (свыше 1 до 25 мм^2), крупные (свыше 25 до 625 мм^2) и особо крупные (свыше 625 мм^2);
- по живому сечению на сетки с нулевыми ячейками (площадь ячеек в свету отсутствует), сетки с малым живым сечением (до 25 % всей площади сетки), нормальным живым сечением (от 25 до 50 %), большим живым сечением (от 50 до 75 %) и особо большим живым сечением (свыше 75 %); при этом живое сечение сетки определяется отношением площади ячеек в свету ко всей площади сетки, выраженным в процентах.

Наибольшего распространения получили следующие сетки (рис. 1.2):

– сетки с элементами и местами соединения их между собой, полученными непосредственно в экструзионной головке, а также с местами соединения экструдированных элементов между собой, полученными на дорне за пределами головки; такие сетки имеют квадратные или ромбические ячейки, сторона которых обычно лежит в диапазоне от 13 до 83 мм [91];

– сетки с ячейками, вырубленными из сплошного рулонного материала (плоские неориентированные сетки и сетки с последующей двухосной ориентацией);

– сетки с ячейками, образованными в результате двухосной ориентации рулонного материала с предварительной его проколкой (реже прорезкой) без удаления части рулонного материала;

– тканые (плетеные) сетки как с последующей сваркой элементов между собой, так и без их взаимного сваривания;

– скрученные и вязанные сетки.

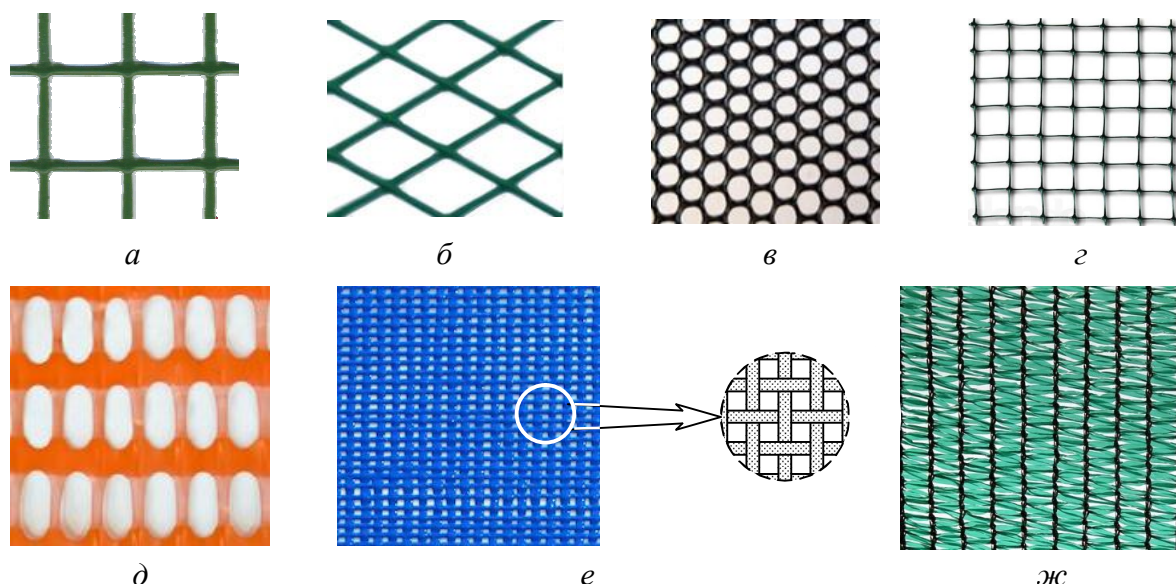


Рис. 1.2. Наиболее распространённые виды полимерных сеток: *а, б* – с элементами сетки и узлами между ними, полученными непосредственно в экструзионной головке или с элементами сетки, термосваренными на дорне после выхода их из экструзионной головки (с квадратными и ромбическими ячейками, соответственно); *в, г* – с ячейками, вырубленными из сплошного рулонного материала (неориентированное полотно и полотно с последующей двухосной ориентацией, соответственно); *д* – с ячейками, образованными в результате двухосной ориентации предварительно проколотого или прорезанного рулонного материала; *е* – тканая сетка с последующей сваркой элементов между собой; *жс* – скрученная безузловая сетка

Как уже было сказано, по форме и/или размеру ячеек полимерные сетки можно разделить на моноячеистые (см. рис. 1.2, *а–е*), биячеистые и полиячеистые (рис. 1.2, *жс*). Например, к биячеистым можно отнести сетку с элементами, каждый из которых образован несколькими параллельными и разнесёнными между собой стренгами (рис. 1.3) [36].

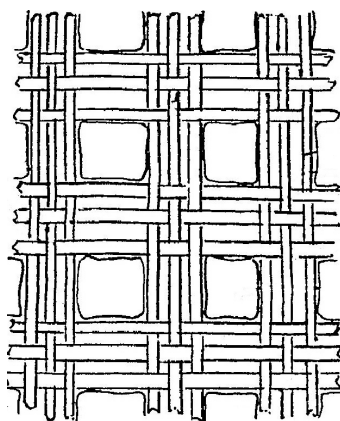


Рис. 1.3. Пример биячеистой сетки [36]

Иногда к полимерным сеткам относят и нетканые материалы, т.е. текстильные изделия из волокон или нитей, соединённых между собой без применения методов ткачества (рис. 1.4), однако отнесение нетканых материалов к сеточным материалам имеет место, вероятно в силу того, что как и традиционные сетки нетканые материалы являются пористыми структурами.

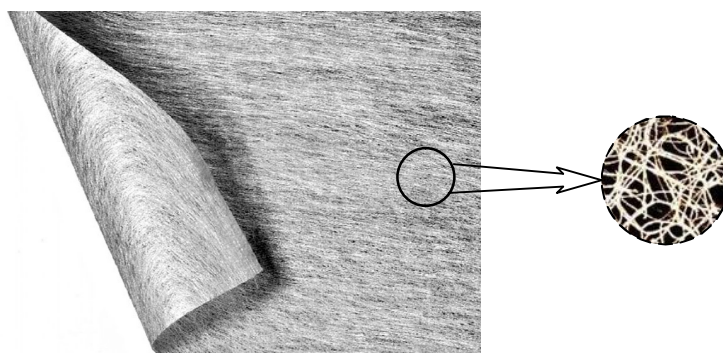


Рис. 1.4. Общий вид нетканого рулонного материала

В то же время, в отличие от традиционных сеток, нетканые материалы характеризуются не регулярной, а хаотичной структурой пор, к тому же различных формы и размеров [97].

1.2. Материалы для изготовления полимерных сеток

Сырьём для изготовления сеток в основном являются полиолефины (полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен), полиамиды, поливинилхлорид и полиэфиры. Выбор материала зависит от назначения сеток и области их применения. Сырьё должно быть сравнительно дешёвым и легко доступным, а также характеризоваться высокими технологическими качествами (легко перерабатываться и окрашиваться в различные цвета), обеспечивать изделиям относительно высокую механическую прочность и необходимые эксплуатационные свойства. Также сырьё не должно иметь резкого запаха и быть вредным для организма живых существ, в некоторых случаях должно

выполняться требование возможного контакта с пищевыми продуктами и т.д. Назначение сетки определяет её параметры: ширину, форму и размеры ячейки, форму и геометрические размеры поперечного сечения её элементов (обычно стренги сетки). Свойства сеток в значительной степени определяются свойствами материала, из которого они изготовлены, и существенным образом зависят от способа изготовления, конструкции сетки (форма и размер ячеек, форма поперечного сечения отдельных стренг, метод соединения стренг в местах их контакта между собой), технологических режимов изготовления, обеспечивающих формирование в полимерном материале определённых структур, последующей обработки отформованных сеток (одно- или двухосная ориентация, термообработка).

1.3. Области применения полимерных сеток

1.3.1. Упаковка

Полимерные сетки используются, прежде всего, в качестве упаковки – средства или комплекса средств, обеспечивающих защиту продукции от повреждений (прежде всего для единичной продукции) и потерь (прежде всего для групповой, например, насыпной продукции), а также окружающую среду от загрязнения во время транспортировки, хранения и реализации продукции.

Так, полимерные сетки широко используются для упаковки овощей и фруктов (преимущественно рукавные полимерные сетки в виде вязаных или плетеных сеточных мешков), дополнительной защитной и технологической упаковки колбас, мяса, а также консервных банок и стеклянных бутылок. В специальные декоративные сетки упаковывают подарочные наборы и игрушки. Также из полимерных сеток изготавливают разнообразные хозяйственные пакеты и сумки.

1.3.2. Машиностроение и приборостроение

В машиностроении рукавные полимерные сетки используют для упаковки полированных валков, поршней, штоков и других деталей из металла, древесины, стекла, фарфора, керамики, что способствует их защите при обращении с ними.

1.3.3. Строительство

Во время проведения строительных работ полимерные сетки используются при заливке цементных, бетонных и наливных полов жилых и промышленных помещений, для обустройства декоративных заборов, крепления утеплителя при монтаже кровли, в качестве элементов ландшафтной архитектуры, для защиты водостоков от листвы, армирования цементно-песчаных стяжек и штукатурных слоёв (как черновых, так и финишных) наружных и внутренних

поверхностей зданий и сооружений, в том числе и для систем наружного утепления, а также некоторых видов отделочных и облицовочных работ. Такие армирующие сетки отлично удерживают на себе строительный или штукатурный раствор, предотвращая при этом его сползание со стен и потолков зданий.

Во время строительства и проведения реставрационных работ широко используется защитная фасадная сетка, предназначенная для закрытия фасадов зданий и строительных лесов. Такая сетка надёжно препятствует падению различных предметов, инструментов, а также строительного мусора на площадке. Более прочными являются защитно-улавливающие сетки, которые натягивают между этажами строящихся зданий и сооружений для улавливания упавших с высоты людей и стройматериалов, а также снаружи зданий и сооружений для улавливания мусора, сосулек, снежных оползней и др. Аналогичные защитно-улавливающие сетки располагают вдоль автомобильных трасс и спортивных площадок (при этом также разработана сетка, обладающая флуоресцирующим свойством [46]).

В ландшафтном строительстве полимерные сетки применяют для затенения зон отдыха с целью их защиты от прямых солнечных лучей. Усиленные сетки используются для армирования основания дорог, защиты газонов от вытаптывания, укрепления оснований фундаментов и отмостков зданий.

Одной из разновидностей строительных полимерных сеток является дренажная сетка, которая представляет собой выпуклую сетчатую структуру с ромбовидной формой и размером ячеек обычно 10×10 мм, сформированными двумя наложенными друг на друга пересекающимися стренгами. Дренажная сетка является основой при изготовлении дренажных матов (в этом случае сетка по обеим поверхностям покрывается фильтром, изготовленным из нетканого иглопробивного материала). Применяемая в мате сетка способна обеспечить высокоэффективное пропускание воды в плоскости мата, а геотекстиль – хорошую фильтрацию и удержание грунта.

Строительная полимерная сетка для армирования оснований дорог, подъездных путей, парковочных стоянок, тротуарных дорожек, называется геосеткой. Геосетка применяется для обеспечения устойчивости, армирования и разделения слоёв дорожного полотна, а также для создания устойчивого растительного покрова на откосах с целью предотвращения эрозионных процессов. Помимо исключения взаимопроникновения конструктивных слоёв, геосетка обеспечивает эффект заклинивания структурного наполнителя в ячейках, что позволяет контролировать её горизонтальные сдвиги. Обладая высокой жёсткостью, геосетка позволяет выдерживать значительные нагрузки при очень низких деформациях.

Для укрепления склонов, земляных дамб, откосов мостов и путепроводов также используют не плоские, а объёмные полимерные сетки тяжёлого типа – георешётки (рис. 1.5). Высота таких сеток обычно колеблется в пределах от 50 до 200 мм, а размер ячейки – от 160×160 мм до 410×410 мм и более [94].



а



б

Рис. 1.5. Общий вид сеток тяжёлого типа (георешёток):
а – сплошной; *б* – перфорированной

Соседние элементы георешёток соединяются собой обычно с помощью тепловой сварки, однако для повышения надёжности сварные соединения могут быть усилены дополнительными средствами, например металлическими скобами [48].

1.3.4. Сельское хозяйство и животноводство

Полимерные сетки используются в тепличном хозяйстве для поддержки растений (например, томатов), обустройства ограждений, клеток и вольеров для содержания животных и домашней птицы, для сушки плодов, поддержки вьющихся растений, сбора урожая. В садоводстве и сельском хозяйстве их используют для защиты посевов и ягодных кустов от птиц и прямых солнечных лучей (т.е. для затенения – рис. 1.6).



а



б



в



г

Рис. 1.6. Скрученные безузловые сетки сельскохозяйственного назначения из полипропилена для защиты посевов от действия прямых солнечных лучей со степенью затенения, %:
а – 80; *б* – 70; *в* – 45; *г* – 30

Также полимерные сетки в садоводстве и сельском хозяйстве используют в качестве ограждения птичников, для улавливания яиц и падающих с деревьев плодов. Мешочки из сетки, заполненные землёй, заменяют горшки для возделывания рассады

1.3.5. Химическая и текстильная отрасли промышленности

Сетки с небольшими ячейками используют в конструкциях воздушных и топливных фильтров, для фильтрации воды, фруктовых соков, а с большими ячейками – в качестве основы фильтрующих элементов различных фильтров. При этом для тонкого фильтрования различных суспензий нередко применяются плетёные сетки с нулевыми ячейками, каналы для прохода дисперсионной среды которых образуются в местах перегибов соседних взаимно перпендикулярных элементов сетки (по своей структуре такие сетки подобны текстильным тканям).

При перемещении и складировании липких и самоклеющихся материалов (например, листы резиновой смеси, изоляционная лента) полимерные сетки используют в качестве прокладок. В текстильной и лёгкой отраслях промышленности специально обработанные полимерные сетки применяют в качестве прокладок для головных уборов и корсетов.

1.3.6. Рыбная ловля и рыбоводство

Для ловли рыб используются специальные полимерные сети. При этом чаще всего применяются плетёные узловые сети, для изготовления которых используются преимущественно полиамидные стренги (в том числе и скрученные из нескольких элементарных стренг), скреплённые между собой прочными узлами.

1.3.7. Другие области применения

Достаточно перспективным является изготовление армированных плёнок. Плёнка, армированная ориентированной в продольном и поперечном направлениях сеткой, имеет значительно большую прочность по сравнению с традиционной полимерной плёнкой, толщина которой нередко в несколько раз больше, чем сетки [89]. Так, получили распространение армированные плёнки, состоящие из полипропиленовой сетки повышенной прочности с жёстким креплением элементов (стренг) в местах их пересечения, ламинированной с обеих сторон плёночными слоями из полиэтилена. Прочность и невысокая стоимость армированных плёнок делают их пригодными для изготовления влагонепроницаемой тары, покрытий для теплиц, днищ водоёмов и каналов. Подобные армированные сеткой плёнки изготавливают как одновременным формованием одного или нескольких материалов через общую экструзионную

головку [3, 35], так и отдельным получением плёнки (плёнок) и сетки с последующей их сваркой между собой [50].

Также предложена конструкция комбинированной сетки, состоящей из сетки-основы с ромбическими ячейками, заключённой между, по меньшей мере, двумя рядами параллельных полос. При этом параллельные полосы различных слоёв сварены с полосами сетки-основы и между собой (в местах перекрытия ими ячеек), в результате чего образуется лёгкая и чрезвычайно прочная сетчатая конструкция [55, 83].

1.4. Выводы

Полимерные сетки – это изделия из полимеров и пластмасс с широкими возможностями использования в различных отраслях экономики и в быту, которые за последние годы получили достаточно широкое распространение. С учётом же разработки всё новых и новых полимерных материалов, образцов эффективного технологического оборудования, а также технологических приёмов переработки указанных материалов в изделия можно с уверенностью говорить о ещё большем расширении областей применения полимерных сеток в самое ближайшее время.

2. МЕТОДЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

2.1. Общие сведения

Полимерные сетки изготавливают различными методами, однако наиболее распространёнными среди них являются методы, основанные на экструзии расплава полимерного материала [89, 90]. Разработчиками различных стран мира запатентовано достаточно большое количество технических решений в области экструзионных полимерных сеток и их технологии. Так, только поисковая система Европейского патентного ведомства (<http://worldwide.espacenet.com>) и лишь по рубрике международной патентной классификации B29D 28/00 (изготовление сеток или подобных изделий из пластика) по состоянию на октябрь 2015 года выдавала более 2700 ссылок. Однако промышленное применение нашли далеко не все из запатентованных технических решений. Поэтому рассмотрим лишь основные методы промышленного изготовления полимерных сеток или их элементов (стренг, нитей, полос) экструзией, а также процессы и оборудование для их формования.

2.2. Способ получения полимерных сеток из экструдированного сплошного рулонного материала с формованием из него сетки

Этим способом изготавливают плоские и рукавные сетки трёх типов:

- сетки, получаемые вырубкой части рулонного материала с образованием ячеек и последующей утилизацией вырубленных из него фрагментов; при этом после вырубки рулонный материал может подвергаться одно- или двухосной ориентации для увеличения размеров ячеек и повышения физико-механических свойств сеток [46];
- сетки, получаемые проколкой или прорезкой рулонного материала без удаления части рулонного материала с его последующей двухосной ориентацией для образования ячеек [86];
- сетки, получаемые прорезкой рулонного материала и его вырубкой на конечных участках прорезей (для снижения концентрации напряжений на конечных участках прорезей и предупреждения дальнейшего распространения прорезей) с последующей его двухосной ориентацией для образования ячеек [74].

Заготовку будущей сетки – сплошной рулонный материал – обычно получают экструзионным или экструзионно-каландровым методами. При этом в обоих случаях для формования расплава полимера используют плоскочелювные экструзионные головки [15]. Основное отличие этих способов между собой состоит в том, что в первом случае толщина (калибр) неориентированного рулонного материала обеспечивается непосредственно плоскочелювной экструзионной головкой, а во втором – гладильным каландром

(обычно двух- или трёхвалковым), расположенным на выходе из плоскощелевой экструзионной головки.

2.3. Способ получения полимерных сеток сплетением предварительно полученных экструзией стренг (нитей, полос) как отдельных изделий с последующей термосваркой продольных и поперечных стренг (нитей, полос) между собой

Этим способом изготавливают плоские сетки с прямоугольными (в том числе квадратными) ячейками двух типов:

- сетки, элементы которой – стренги (нити, полосы) – формуют из расплава полимера с помощью стренговой экструзионной головки, после чего указанные элементы охлаждают и наматывают на оправку; далее готовые элементы обычно переплетают между собой методами ткачества, после чего пересекающиеся элементы обычно подвергают термосварке;

- сетки, элементы которой в виде полосок прямоугольного сечения получают разрезанием полученной экструзией ориентированной плёнки; дальнейшая технология аналогична предыдущему способу.

2.4. Способ получения полимерных сеток сплетением, скруткой или связыванием предварительно полученных экструзией стренг (нитей, полос) как отдельных изделий без последующей их термосварки между собой

Этим способом изготавливают прочные сетки с прямоугольными (в том числе квадратными) и ромбовидными ячейками, используемые в частности для рыбной ловли и обустройства спортивных сооружений.

2.5. Способ получения полимерных сеток из экструдированных стренг с помощью фильер, обеспечивающих их попарное колебательное движение относительно механизма сварки стренг между собой

Типовое устройство для изготовления сеток этим способом приведено на рис. 2.1 [56, 60, 64, 85]. В плоскости, перпендикулярной потоку расплава полимера, расположены стержни-фильеры 1, имеющие диаметральный каналы 2 для выхода расплава в виде стренг 3. Плотные установленные цилиндрические или конические стержни полностью перекрывают соответственно плоскощелевой (в случае получения плоских сеток) или кольцевой канал (в случае получения рукавных сеток). Стержни снабжены взаимно зацепляющимися шестернями, благодаря чему каждый из них может вращаться вокруг продольной оси или поворачиваться в обе стороны на угол до 90°. При этом вра-

щение или поворот стержней может осуществляться непрерывно или циклически. Соответствующие прилегающие друг к другу цилиндрические или конические участки соседних стержней во время их движения обкатываются друг по другу без проскальзывания, в связи с чем потери на трение практически отсутствуют. Узлы ячеек 4 образуются при сварке стренг 3, когда выходы диаметральных каналов 2 соседних стержней совпадают. В случае же несовпадения выходов указанных каналов формируются отдельные продольные стренги.

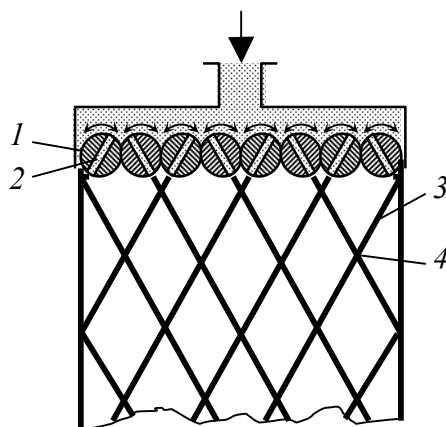


Рис. 2.1. Способ получения полимерных сеток из экструдированных стренг с помощью поворотных стержней: 1 – поворотный стержень-фильера; 2 – диаметральные каналы; 3 – стренга; 4 – место соединения стренг (узел)

К недостаткам этих устройств можно отнести достаточно сложную конструкцию и необходимость достижения высокой точности изготовления стержней. Также такие устройства могут быть рационально использованы только для изготовления сеток с достаточно большими ячейками.

Аналогичное устройство [4] отличается намного большей универсальностью, поскольку её стержни-фильеры снабжены съёмными насадками. Такое конструктивное решение позволяет быстро изменять насадки, а значит размеры и форму поперечного сечения экструдированных стренг изготавливаемой сетки.

2.6. Способ получения плоских полимерных сеток заполнением расплавом рельефного узора на поверхности вращающегося цилиндра

Устройство для изготовления сеток этим способом приведено на рис. 2.2 [37, 61, 84]. Оно представляет собой экструзионную головку, состоящую из цилиндрического корпуса 7 со щелью-окном 8 для снятия отформованной сетки 3. В корпусе устройства от шестерни 1 вращается формирующий цилиндр 5 с узором в виде впадин на его поверхности.

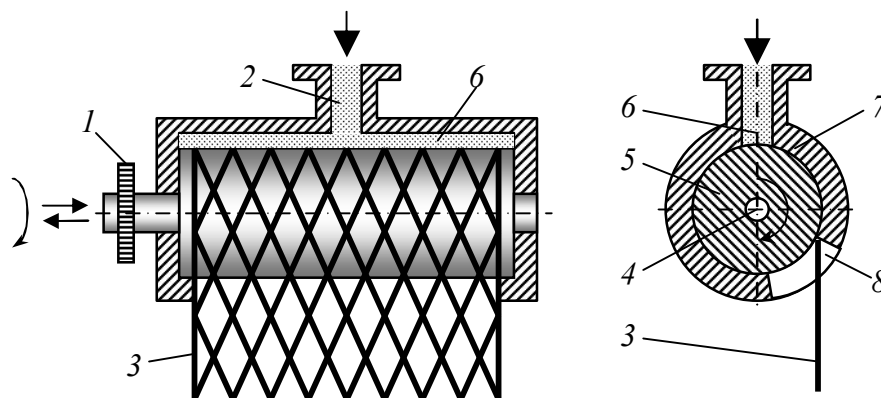


Рис. 2.2. Способ получения полимерных сеток заполнением расплавом рельефного узора на поверхности вращающегося цилиндра: 1 – шестерня цилиндра; 2 – подводящий канал; 3 – готовая сетка; 4 – осевой канал цилиндра; 5 – формующий цилиндр; 6 – камера; 7 – корпус с цилиндрической полостью; 8 – выпускное окно корпуса

Формование сетки осуществляется следующим образом.

Расплав полимера от экструдера под давлением непрерывно подаётся по каналу 2 в камеру 6 и заполняет узор на поверхности формующего цилиндра 5. При вращении цилиндра излишек полимера с его поверхности снимается плотно прилегающей к нему внутренней поверхностью корпуса 7. Полимер, оставшийся в узоре цилиндра 5, и образует готовое изделие 3. Для фиксации формы изделия в осевой канал 4 цилиндра подаётся охлаждающая вода. Готовая сетка снимается с цилиндра 5 и отводится через окно 8 в корпусе 7. Для одновременного получения сеток нескольких типоразмеров формующий цилиндр по длине может быть иметь две или более секций с соответствующим узором. Недостатками таких устройств являются сложность их конструкции, невысокое качество поверхности получаемых сеток, ограниченность их ассортимента, а также сложная переналадка при переходе с одного типоразмера сеток на другой.

2.7. Способ получения плоских полимерных сеток заполнением расплавом рельефного узора на поверхностях прилегающих друг к другу двух встречно вращающихся цилиндров

Схема устройства для изготовления сеток этим способом приведена на рис. 2.3 [73].

Это устройство также может обеспечить и получение сплошного рулонного или листового материала с выпуклым сетчатым рисунком на её поверхностях. Для этого достаточно раздвинуть валки на величину, определяющую калибр сплошной основы получаемого рулонного материала.

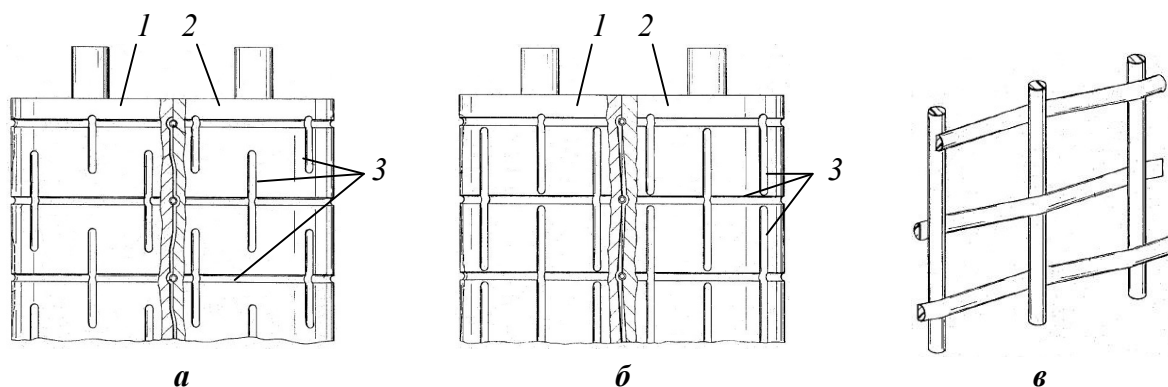


Рис. 2.3. Формующий инструмент (а, б) способа получения плоских полимерных сеток (в) заполнением расплавом рельефного узора на поверхностях двух встречно вращающихся цилиндров: 1, 2 – валки; 3 – пазы на поверхностях валков

2.8. Способ получения рукавных полимерных сеток с ромбическими ячейками экструзией расплава через продольные отверстия в соосно расположенных и вращающихся в противоположных направлениях фильерах, а также внешним соединением стренг между собой

Типовое устройство для изготовления сеток этим способом приведено на рис. 2.4 [1, 2, 27–30, 32–34, 38–45, 47, 49, 51, 53, 57–59, 62, 63, 65, 68–70, 88].

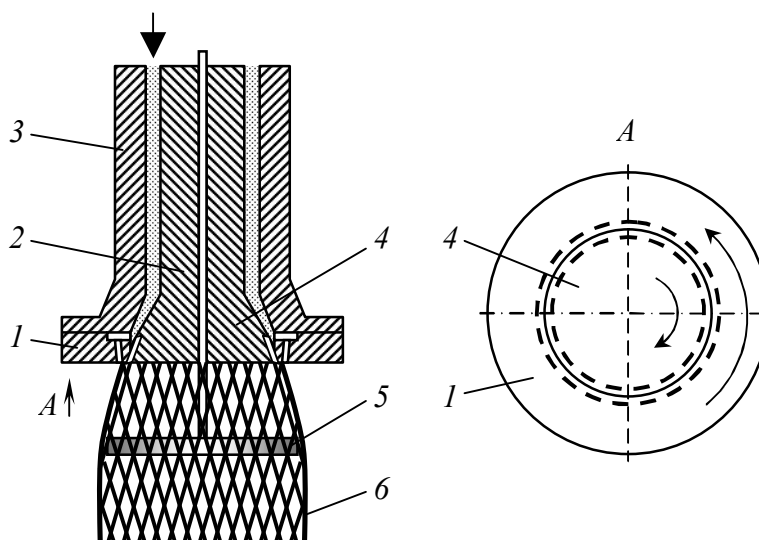


Рис. 2.4. Способ получения рукавных полимерных сеток экструзией расплава через продольные отверстия вращающихся фильер: 1 – внешняя фильера; 2 – вал; 3 – корпус; 4 – внутренняя фильера; 5 – ширительный диск; 6 – готовая сетка

Расплав полимера от экструдера подаётся в кольцевой канал головки, образованным корпусом 3 и внутренним валом 2, и продавливается в виде стренг через отверстия во внешних 1 и внутренних 4 фильерах, вращающиеся в противоположных направлениях. Отверстия в фильерах выполнены под углом к вертикали и на выходе сходятся между собой. Стренги, выходящие из отверстий внешней и внутренней фильер, при вращении последних накладываются друг на друга и свариваются между собой, формируя рукавную сетку с ромбической формой ячеек. Для увеличения прочности соединения стренг и облегчения процесса формирования изделия совокупность пересекающихся стренг натягивается на ширительный диск 5, установленный под головкой и погруженный в ёмкость с водой. Преимущества устройств этого типа: возможность изготовления сеток с ячейками различного размера, быстрая переналадка с одного типоразмера сетки на другой, а также относительно простое обслуживание. К недостаткам можно отнести анизотропию свойств изготовленных сеток в продольном и поперечном направлениях, а также быстрое изнашивание фильер.

При этом расположение ромбических ячеек относительно продольной оси рукавной сетки можно изменять регулированием величин скоростей обеих фильер [27]. Так, при одинаковых по величине, но противоположных по направлению окружных скоростях формирующих каналов различных фильер образуются ячейки, симметричные относительно продольной оси сетки (рис. 2.5,а). В предельном случае, когда одна из фильер неподвижна, она формирует стренги, параллельные продольной оси сетки, в результате чего образуется сетка с ромбическими ячейками, две стороны которой параллельны продольной оси сетки (рис. 2.5,б). Последний вариант корректнее отнести к следующему способу, рассмотренному ниже (хотя, в отличие от него, в рассмотренном способе отверстия для формования стренг как в неподвижной, так и в подвижной фильерах выполнены продольными).

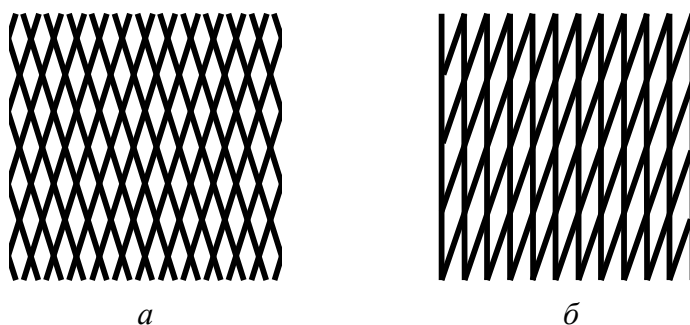


Рис. 2.5. Строение сетки при экструзии через соосно расположенные фильеры при одинаковых по величине, но противоположных по направлению окружных скоростях формирующих каналов обеих фильер (а) и при одной вращающейся и второй неподвижной фильерах (б)

2.9. Способ получения рукавных полимерных сеток с практически прямоугольными ячейками экструзией расплава через каналы в соосно расположенных фильерах, одна из которых неподвижна, а вторая вращается; при этом в неподвижной фильере отверстия выполнены продольными, а во вращающейся – спиральными

Конструкция этого устройства [12, 75] аналогична предыдущей с той лишь разницей, что одна из фильер, образующая продольные прямолинейные стренги, остаётся неподвижной, а вторая, образующая поперечные стренги в виде пространственной спирали (рис. 2.6), располагаясь с небольшим наклоном к продольным прямолинейным стренгам, совершает вращательное движение. При этом на конической рабочей поверхности вращающейся фильеры выполнен одно- или многозаходный спиральный паз для захвата расплава полимера, из которого формируются поперечные стренги.

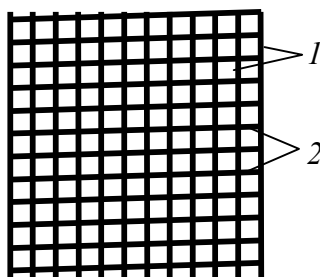
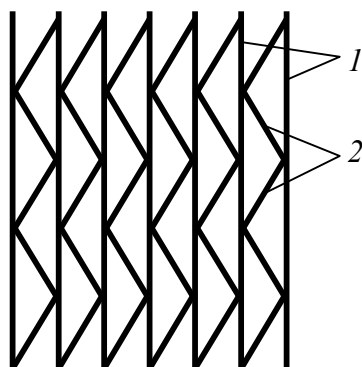


Рис. 2.6. Строение сетки при экструзии через соосно расположенные фильеры, одна из которых неподвижна, а вторая вращается: 1 – продольные прямолинейные стренги; 2 – поперечные стренги в виде пространственной спирали

Ещё одним устройством для реализации рассмотренного способа описано в работе [9]. В нём дорн выполнен в виде цилиндрической шайбы с кольцевой проточкой на боковой поверхности, при этом шайба установлена на сферической опоре с возможностью совершения вращательно-колебательного движения (при котором продольная ось шайбы описывает коническую поверхность). При вращении приводного вала система роликов обкатывается по шайбе и сообщает ей колебательное движение, в результате которого формируется поперечная стренга в виде пространственной спирали. Матрица же устройства, оставаясь неподвижной, обеспечивает формирование продольных прямолинейных стренг изготавливаемой рукавной сетки.

2.10. Способ получения рукавных полимерных сеток с треугольными ячейками экструзией расплава через отверстия в соосно расположенных фильерах, одна из которых неподвижна, а вторая совершает круговые колебания

Конструкции устройств для реализации этого способа [57] аналогичны предыдущей конструкции. Разница состоит лишь в том, что одна из фильер, формирующая прямолинейные стренги, остаётся неподвижной, а вторая, формирующая зигзагообразные стренги, располагающиеся между соседними прямолинейными стренгами (рис. 2.7), совершает круговые колебания с окружной амплитудой, равной шагу расположения прямолинейных стренг.



*Рис. 2.7. Строение сетки при экструзии через соосно расположенных фильерах, одна из которых неподвижна, а вторая совершает круговые колебания:
1 – продольные прямолинейные стренги; 2 – поперечные зигзагообразные стренги*

2.11. Способ получения рукавной полимерной плёнки, армированной полимерной сеткой с ромбическими ячейками, экструзией расплава через плёночно-сеточную головку

Способ и устройства для изготовления указанного рукавного полимерного изделия – рукавной полимерной плёнки, сваренной по наружной поверхности с рукавной полимерной сеткой с ромбическими ячейками – предложен в патентах [3, 35]. Расплав полимера от экструдера подаётся в специальную плёночно-сеточную головку, в которой он разделяется на два потока, один из которых формирует плёнку 1, а другой – образующую наружный слой комплексного рукавного полимерного изделия сетку 2 (рис. 2.8). При этом принцип получения сетки аналогичен способу, приведенному на рис. 2.4 с той лишь разницей, что внешняя фильера 3 остаётся неподвижной, а внутренняя фильера 4 совершает крутильно-колебательные движения [35].

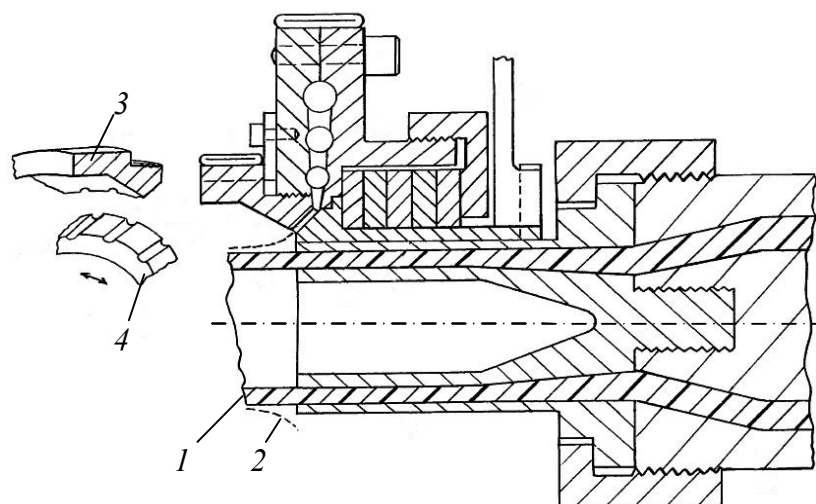


Рис. 2.8. Способ получения рукавной полимерной плёнки, армированной полимерной сеткой с ромбическими ячейками, экструзией расплава через плёочно-сеточную головку:
1 – плёнка; 2 – сетка; 3, 4 – внешняя и внутренняя фильеры, соответственно

2.12. Способ получения рукавных полимерных сеток навивкой экструдированных стренг или полос на вращающуюся цилиндрическую оправку

Устройство для изготовления сеток этим способом приведено на рис. 2.9 [66].

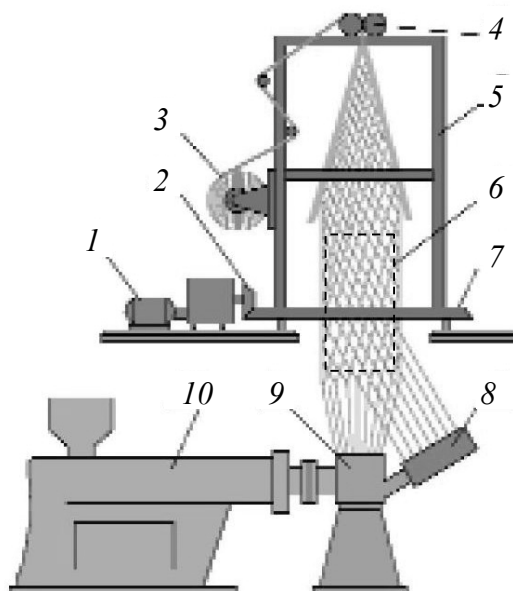


Рис. 2.9. Способ получения рукавных полимерных сеток из экструдированных стренг с их термосваркой на вращающейся оправке: 1 – электродвигатель; 2 – шестерня; 3 – рулон готовой сетки; 4 – тянущие валки; 5 – рама; 6 – оправка; 7 – зубчатое колесо; 8, 9 – кольцевой и щелевой мундштуки, соответственно; 10 – экструдер

Расплав полимерного материала подаётся экструдером 10 в кольцевой 9 и щелевой 8 мундштуки. Полимерные стренги, которые выдавливаются из мундштуков, навиваются на вращающуюся цилиндрическую оправку 6, формируя сетку с ромбическими ячейками.

Оправка вращается от электродвигателя 1 через шестерню 2 и зубчатое колесо 7 рамы 5, которая вращается вместе с оправкой 6. Готовая охлаждённая сетка снимается с оправки валками 4 и сматывается в рулон 3. Как вариант предусмотрена возможность использования двух отдельных экструдеров для переработки полимеров разного цвета.

Устройство конструктивно сложное, не обеспечивает достаточной прочности соединения стренг в узлах, в связи с чем ассортимент получаемых таким образом сеток весьма ограничен.

2.13. Способ получения плоских и рукавных полимерных сеток с прямоугольными (в том числе квадратными) ячейками экструзией расплава через каналы формующего инструмента, осуществляющего осциллирующее движение в направлении экструзии

Устройство для изготовления плоских сеток этим способом приведено на рис. 2.10 [89].

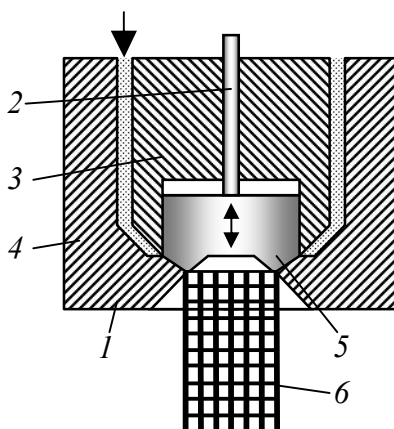


Рис. 2.10. Способ получения плоских полимерных сеток экструзией расплава через каналы формующего инструмента, осуществляющего осциллирующее движение:
1 – матрица; 2 – шток; 3 – дорн; 4 – корпус головки; 5 – плунжер; 6 – готовая сетка

Расплав полимера от экструдера подаётся в зазор между корпусом головки 4 и дорном 3. В цилиндрическом гнезде дорна размещён плунжер 5, с помощью штока 2 соединенный с механизмом вибрации. Плунжер своей нижней частью плотно прилегает к внутренней конической поверхности матрицы 1 с прорезанными на ней радиально расположенными канавками, количество и профиль которых определяют размеры ячеек и толщину стренг полу-

чаемой сетки. Если плунжер 5 находится в крайнем нижнем положении, расплав полимера может продавливаться только через указанные канавки, и из головки выходят продольные стренги. При перемещении плунжера в крайнее верхнее положение между матрицей и плунжером образуется кольцевая щель, через которую выдавливается сплошное кольцо расплава, образующее поперечную стренгу сетки с прямоугольными (в том числе квадратными) ячейками. Таким образом, регулируя частоту вибрации плунжера, можно изменять длину (в направлении экструзии) ячеек получаемой сетки.

Аналогичное устройство, но для изготовления этим способом уже рукавных сеток, приведено на рис. 2.11 [17, 31, 67, 71, 72].

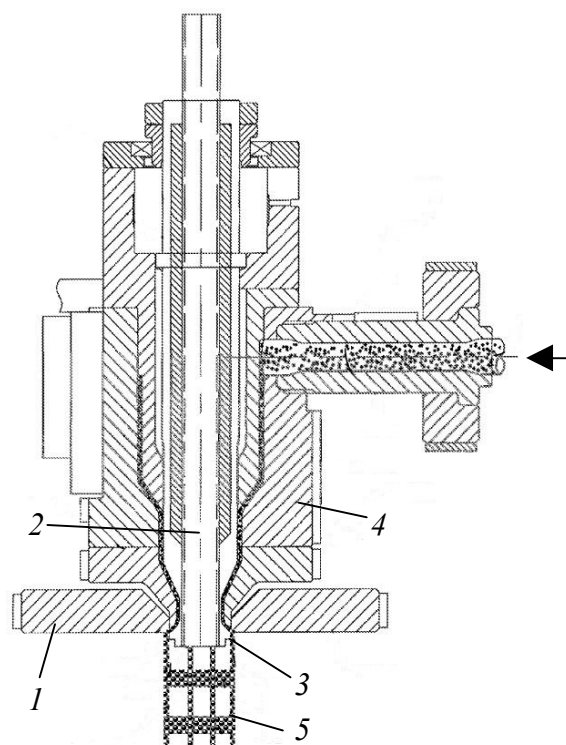


Рис. 2.11. Способ получения рукавных полимерных сеток экструзией расплава через каналы формующего инструмента, осуществляющего осциллирующее движение:

1 – матрица; 2 – шток; 3 – дорн; 4 – корпус головки; 5 – готовая сетка

Устройства такого типа конструктивно просты, не имеют вращающихся быстроизнашивающихся элементов, а благодаря сменным матрицам обеспечивают получение разных сеток из различных полимеров с прямоугольной формой ячеек, которые в дальнейшем можно ориентировать в двух направлениях.

Из многообразия предлагаемых способов получения полимерных сеток в промышленности наиболее широкое применение получили четыре способа экструзии сеток: нетлон (английский способ), полинэт (немецкий), налл (американский) и трикаль (французский). Первые три способа аналогичны друг

другу и заключаются в экструзии расплава полимера через соосно расположенные отверстия во вращающемся формующем инструменте. Указанные способы различаются между собой лишь формой каналов. В одном случае эти каналы выполнены в виде открытых пазов на взаимно обращённых поверхностях фильер, скользящих друг по другу (рис. 2.12,а). В другом случае указанные каналы выполнены в виде совокупности концентрично расположенных круглых отверстий (рис. 2.12,б), близко прилегающих к контактными поверхностям фильер и сходящихся на выходе из них.

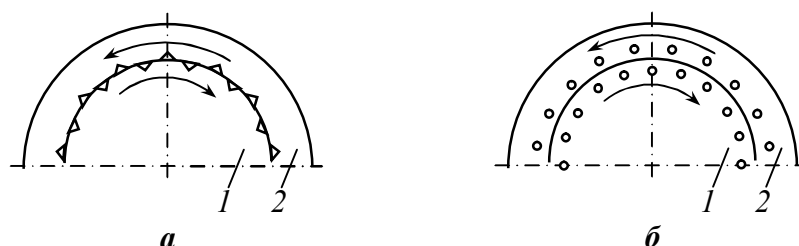


Рис. 2.12. Варианты формующих каналов вращающихся фильер: а – открытые пазы на контактирующих поверхностях фильер; б – круглые отверстия; 1, 2 – внутренняя и внешняя фильеры, соответственно

В первом случае при совпадении пазов на внутренней и внешней фильерах образуются монолитные места соединения стренг – узлы сетки, а при их расхождении – отдельные стренги. Таким образом получают сетки с внутренним (относительно головки) соединением стренг. В другом же случае круглые стренги, выходящие из отверстий при вращении фильер, накладываются друг на друга и свариваются между собой, образуя сетку с ромбическими ячейками, т.е. образуются сетки с внешним (относительно головки) соединением стренг. Изменяя диаметр фильер, количество и форму поперечного сечения пазов или отверстий, а также скорость вращения фильер, можно получать большое количество типоразмеров сеток. Недостаток способов нетлон, полинэт и налл – изготовление сетки только с ромбическими ячейками, которую нельзя ориентировать в двух направлениях. Кроме того, устройства для осуществления этих способов отличаются сравнительно быстрым изнашиванием формующего инструмента. Французский способ трикаль в этом отношении выгодно отличается от трёх предыдущих способов. Экструзионные головки для его реализации конструктивно проще, дешевле и меньше подвергаются износу. Этот способ обеспечивает получение сеток с ячейками прямоугольной формы произвольных размеров, которые хорошо ориентируются в двух направлениях. Принцип работы устройства для реализации способа трикаль приведен на рис. 2.4.

2.14. Выводы

Во втором разделе рассмотрены наиболее распространённые способы формования полимерных сеток методом экструзии. В научно-технической и патентной литературе имеются сведения и о других способах и устройствах для их реализации, однако они не получили широкого промышленного применения. Тем не менее, не исключено, что новые способы получения экструдированных полимерных сеток – усовершенствованные известные или принципиально новые – могут быть предложены в самое ближайшее время.

3. СЕТОЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ЛИНИИ И АГРЕГАТЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

3.1. Общие сведения

Производство полимерных сеток известными способами [89] включает следующие основные операции:

- в случае непосредственного формования полотна сетки: подготовка сырья, подготовка расплава, формование заготовки сетки, охлаждение сетки, намотка неориентированной сетки, ориентация и термообработка сетки, намотка ориентированной сетки;

- в случае формования полотна сетки из предварительно изготовленных элементов сетки (стренг, нитей, полос): соединение элементов сетки между собой, например, методами ткачества, при необходимости дополнительная фиксация полученной заготовки сетки (например, термосварка элементов в местах их взаимного пересечения), намотка неориентированной сетки, ориентация и термообработка сетки, намотка ориентированной сетки.

Рассмотрим операции наиболее распространённых способов производства полимерных сеток непосредственным формованием полотна сетки методом экструзии.

3.2. Подготовка сырья

Сырьё для производства полимерных сеток (полиэтилен высокого и низкого давления, полипропилен, полистирол, поливинилхлорид, полиамид и др.) поставляется в основном в виде гранул и во многих случаях не требует какой-либо специальной подготовки. Однако в случае повышенной влажности сырья его предварительно подсушивают. При изготовлении цветных сеток сырьё окрашивают, для чего используют смесители различных типов, в которых гранулированный материал перемешивается с соответствующими пигментами и/или красителями [25].

3.3. Подготовка расплава

Исходный гранулированный полимерный материал переходит в расплав, равномерно перемешивается и гомогенизируется в червячном, дисковом или комбинированном (червячно-дисковом, дисково-червячном, дисково-шестерённом) экструдере.

Чаще всего в линиях для производства полимерных сеток используются одночервячные экструдеры с диаметром червяка преимущественно 32, 45, 63 и 90 мм. Производительность червячных экструдеров и качество расплава определяется конструкцией червяка, которая выбирается с учётом свойств материала, особенностей изготавливаемых сеток и специфики работы экструдера. Обычно для переработки гранулированных термопластичных полимерных ма-

териалов применяют цилиндрические червяки с постоянным шагом и переменной глубиной винтового канала, которые имеют три чётко выраженные функциональные зоны – загрузки, сжатия (плавления) и дозирования (гомогенизации) [19, 22–24, 99]. В зоне сжатия нередко используются специальные сдвиговые элементы, а в зоне дозирования – смесительные [20, 100]. Основными геометрическими параметрами червяка, определяющими производительность экструдера и качество расплава, являются его диаметр и длина рабочей части, степень сжатия (отношение объёмов винтового канала на длине одного шага в зоне загрузки и в зоне дозирования), размеры зон, наличие сдвиговых и смесительных элементов. Червячные экструдеры специальных конструкций в производстве полимерных сеток обычно не используются, а применяются преимущественно червячные экструдеры серийного производства с червяками длиной до 25 его диаметров и более.

3.4. Формование заготовки сетки

Подготовленный в червячном экструдере расплав полимера через узел фильтрации нагнетается в формующую сеточную головку, с помощью которой образуются стренги определённого поперечного сечения, которые непосредственно в головке или на некотором расстоянии от неё в местах взаимного контакта стренг соединяются между собой, образуя заготовку будущей сетки. С помощью ширильного устройства круглого поперечного сечения (диска или цилиндра), размещённого на некотором расстоянии от экструзионной головки (в случае экструзии «сверху вниз» часто непосредственно в ванне охлаждения), рукавная заготовка растягивается в поперечном направлении до заданного диаметра. В зависимости от способа производства и конструкции головки сетка выходит с прямоугольными или ромбическими (реже с треугольными или другой формы) ячейками.

3.5. Охлаждение сетки

Сформованную заготовку сетки либо пропускают через слой воды в ванне охлаждения, либо через зону воздушного охлаждения (по аналогии с производством рукавной полимерной плёнки), при этом охлаждение заготовки сетки сопровождается фиксацией её формы и размеров. В случае водяного охлаждения уровень и температура воды в ванне поддерживаются постоянными.

3.6. Намотка неориентированной сетки

Охлаждённая плоская сетка либо охлаждённая и сложенная тянущими вальками в плоское полотно рукавная сетка наматывается в рулоны заданного диаметра. При необходимости рукавную сетку можно разрезать в продольном направлении и затем уже сматывать в рулоны в виде плоского полотна.

3.7. Ориентация и термообработка ориентированной сетки

Узкие рукавные сетки с ромбическими ячейками можно сразу же после ванны охлаждения, минуя намоточное устройство, подавать на устройство продольной вытяжки, состоящее из двух групп валков: тихоходных, окружная скорость которых равна скорости вытягивания охлаждённой сетки, и расположенных после них быстроходных. Имеющие прямоугольные или квадратные ячейки сетки в виде непосредственно рукавов или рукавов, разрезанных на плоское полотно, можно подвергать двухосной ориентации. Между группами валков находится устройство для термообработки сетки (обычно ванна с жидкостью, имеющей определённую температуру).

3.8. Намотка ориентированной сетки

Сетка с регулируемым усилием натяжения сматывается в рулоны. Существуют системы автоматической и полуавтоматической намотки, имеющие устройства поперечной резки сеточного полотна, его заправки в свободную шпулю (намоточное устройство), обвязки рулона и снятие его с намоточного устройства.

3.9. Технологические линии и агрегаты

На рис. 3.1 приведена схема классической комплексной технологической линии производства безузловой полимерной сетки фирмы «NSW» («Norddeutsche Seekabelwerke GmbH», Германия). Фирма «NSW» изготавливает экструзионные установки для производства полимерных сеток четырёх типов-размеров. Такие сетки под зарегистрированной торговой маркой «полинэт» известны с 1959 года, их получают методом экструзии расплава через отверстия во вращающихся в противоположных направлениях соосно расположенных фильерах [89].

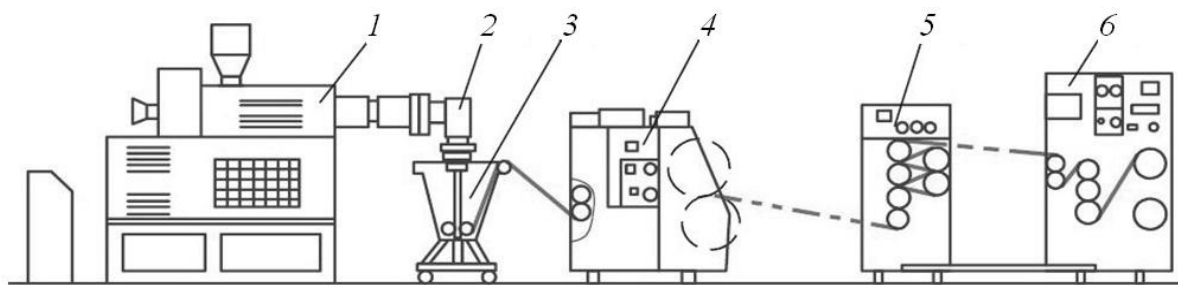


Рис. 3.1. Схема комплексной технологической линии по производству полимерных сеток фирмы «NSW» (Германия): 1 – экструдер; 2 – кольцевая сеточная головка; 3 – ванна охлаждения; 4 – приёмно-тянущее устройство; 5, 6 – тихоходные и быстроходные валки, соответственно

Установка предназначена для переработки полиэтилена высокого или низкого давления, полипропилена и других полимеров в зависимости от типа и назначения получаемых сеток. Она состоит из экструдера 1, кольцевой сеточной головки 2, охлаждающей ванны 3 и приёмно-тянущего устройства 4. Рекомендуется дополнительное устройство для продольной ориентации сетки, состоящее из тихоходных (подающих) 5 и быстроходных (вытяжных) 6 валков.

Получение сетки осуществляется следующим образом.

Предназначенный для переработки гранулированный полимерный материал загружается в бункер экструдера, откуда поступает в его рабочий канал и захватывается червяком. В экструдере под воздействием механической энергии червяка и тепловой энергии электронагревателей материал плавится, гомогенизируется и в виде однородной вязкой массы через пакет фильтрующих сеток подаётся в кольцевую сеточную головку (рис. 3.2).

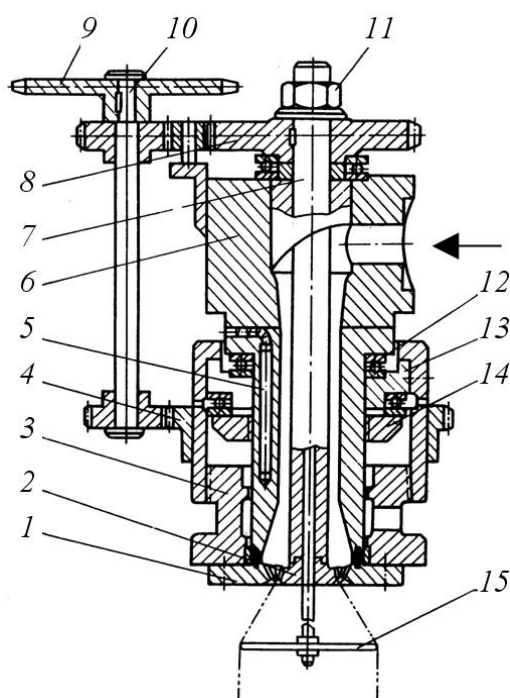


Рис. 3.2. Конструкция кольцевой головки «NSW» для производства безузловой рукавной сетки (пояснения в тексте)

Корпус головки 6 состоит из соединённых между собой болтами верхней и нижней частей. В нижней части корпуса расположены отверстия для патронных электронагревателей 5. Верхняя часть корпуса обогревается внешним кольцевым электронагревателем сопротивления. Во внутреннюю полость корпуса 6 вводится главный вал 7, в нижней части которого на дорне крепится внутренняя фильера 2, выполненная в виде бронзового диска с отверстиями.

Для передачи крутящего момента на вал на нём закреплено зубчатое колесо 8. Соединение вала с колесом шпоночное, при этом колесо крепится на валу гайкой 11, которая поднимает или опускает вал, а вместе с ним и внутреннюю фильеру 2.

Снизу на корпусе 6 установлено опорное кольцо 13, поджимаемое к бурту корпуса прижимной гайкой 14. Между буртом и кольцом, а также между кольцом и гайкой установлены два упорных шарикоподшипника 12. На опорное кольцо устанавливается корпус с зубчатым венцом 4. В корпус ввинчивается стакан 3, на фланце которого крепится внешняя фильера 1, выполненная в виде стального кольца с отверстиями для выдавливания стренг сетки. Вращение головки осуществляется от привода через цепную передачу и звёздочку 9, которая посажена на боковом валу 10 с двумя шестернями. Нижняя шестерня бокового вала находится в зацеплении с зубчатым венцом, через который передаётся вращение опорному кольцу, стакану и внешней фильере. Верхняя шестерня через промежуточную шестерню и зубчатое колесо 8 передаёт вращение на главный вал и внутреннюю фильеру. Внешняя и внутренняя фильеры вращаются в противоположных направлениях, при этом скорость вращения регулируется вариатором и может плавно изменяться в широком диапазоне скоростей. Подготовленный в экструдере расплав в головке проходит по концентрическому зазору между корпусом головки и главным валом и продавливается в виде стренг через отверстия внутренней и внешней фильер. Стренги, выходящие из фильер, протягиваются через установленную под сеточной головкой водяную ванну охлаждения, захватываются гуммированными валками тянущего устройства и направляются в намоточное устройство. Затем включается привод головки, обеспечивающий вращение фильер в противоположные стороны с одинаковой угловой скоростью. Поскольку отверстия во внутренней и внешних фильерах расположены под углом 30° к вертикали и на выходе сходятся на одном диаметре, стренги, которые при вращении фильер выходят из отверстий в противоположные стороны, накладываются друг на друга, образуя рукавную сетку с ромбической формой ячеек. Для повышения прочности соединения стренг сетка натягивается на установленный под головкой ширильный диск 15, диаметр которого в 1,2–3,0 раза больше диаметра фильеры. Ширину рукава, толщину стренг, размеры и форму ячеек получаемой сетки определяют параметрами фильер (количество отверстий, диаметр фильер и отверстий), размерами ширильного диска, а также скоростью вращения головки и вытяжки сетки.

При необходимости получения ориентированной в продольном направлении сетки её заготовка подаётся в устройство продольной ориентации, которым дополнительно комплектуют установки для изготовления сетки. Указанное устройство состоит из двух групп валков: тихоходных (подающих неориентированную сетку) и быстроходных (вытяжных). Группа подающих вал-

ков включает шесть металлических валков диаметром 200 мм (два нижних из них покрыты слоем резины), которые имеют закреплённые на станине приводы и систему управления. Аналогичное устройство имеет и вытяжная группа валков. За устройством ориентации расположено устройство, которое маркирует и раскладывает сетку, а также два намоточных устройства. Валки подачи и вытяжки сетки вращаются от индивидуальных электродвигателей через вариатор с дистанционным управлением. Валки каждой из групп вращаются с одинаковой скоростью, плавно регулируемой вариатором. Ориентация сетки (продольная вытяжка) осуществляется за счёт различия скоростей валков группы подачи и группы вытяжки. В случае ориентации сетки из полиэтилена низкого давления и полипропилена между группами валков монтируется ванна для подогрева сетки в горячей воде. После валков ориентированная сетка в виде тонкого жгута пропускается через маркировочное устройство и раскладчик и далее наматывается на картонные шпули с ребордами.

Фирма «Мапо» (Италия) изготавливает экструзионные установки серии Jumbo RT для изготовления безузловой рукавной сетки из полиэтилена и полипропилена методом экструзии расплава через отверстия во вращающихся соосно расположенных кольцевых фильерах [89]. Схема установки приведена на рис. 3.3.

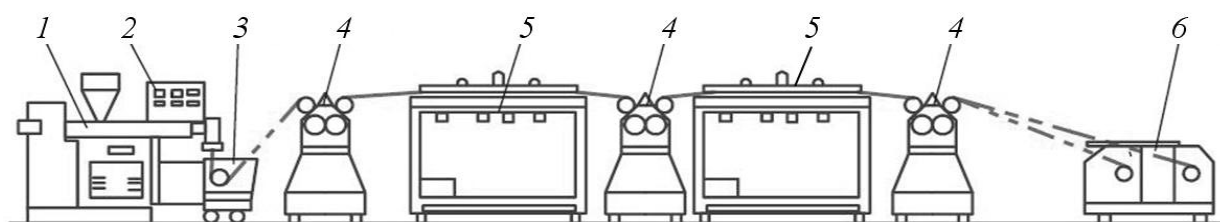


Рис. 3.3. Схема линии по производству полимерных сеток «Мапо» (Италия):
1 – червячный экструдер с кольцевой сеточной головкой; 2 – шкаф контроля и регулирования; 3 – ванна охлаждения; 4 – устройство ориентации;
5 – термостатирующая ванна; 6 – намоточное устройство

Фирма «Мапо» изготавливает линии двух модификаций по производству неориентированных и ориентированных сеток на базе червячных экструдеров с диаметром червяков 45 и 60 мм и длиной 25 диаметров червяка. Установка для производства ориентированной сетки состоит из червячного экструдера 1 с кольцевой сеточной головкой, шкафа контроля и регулирования температуры 2, ванны охлаждения 3, устройства ориентации 4, термостатирующей ванны 5 и намоточного устройства 6. При производстве неориентированной сетки из состава установки исключаются устройство ориентации и термостатирующая ванна, вместо которых дополнительно устанавливаются тянущее устройство и узел разрезания сетки.

Технологический процесс получения сетки на оборудовании фирмы «Мапо» в основном аналогичен процессу, который реализуется на установке

фирмы «NSW», поскольку линии фирм «NSW» и «Мапо» по своему составу и конструкции примерно одинаковы. Различаются они только исполнением устройства ориентации сетки. В установках фирмы «Мапо» это устройство выполнено в виде трёх независимых блоков, каждый из которых оснащён тремя стальными валками диаметром 330 мм и длиной 500 мм. Один из валков на каждом блоке покрыт слоем резины, два других хромированы. Валки вращаются от двигателей постоянного тока, регулирование скорости вращения которых осуществляется с пульта управления. Между группами валков расположены две термостатирующие ванны для подогрева подвергающейся ориентации сетки. Эти ванны снабжены аппаратурой автоматического регулирования температуры воды. Полученная ориентированная сетка в виде жгута наматывается на катушки. Российское ОАО «Межотраслевой институт переработки пластмасс» (ОАО «МИПП НПО «Пластик»; г. Москва, Российская Федерация) ещё в 1970-е годы разработало линию узкоспециального назначения по производству только ориентированных безузловых рукавных сеток для упаковывания плодоовощной продукции. Наибольший интерес в данной линии представляет конструкция головки (рис. 3.4).

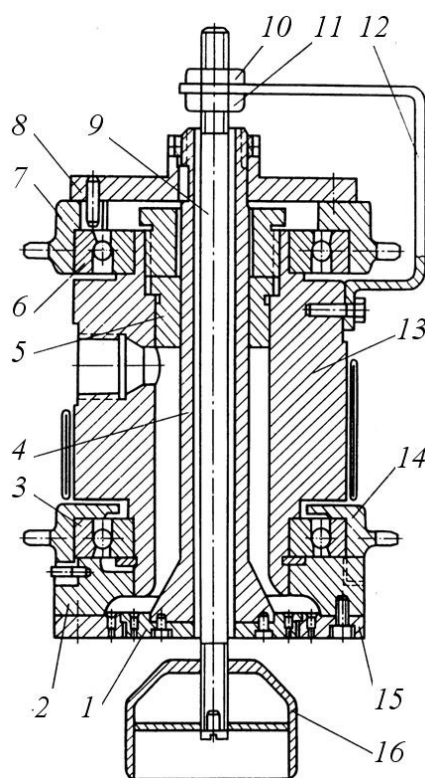


Рис. 3.4. Кольцевая головка для производства ориентированной безузловой рукавной сетки (пояснения в тексте)

Головка состоит из цилиндрического корпуса 13, в котором расположен полый вал 4, удерживающий внутреннюю фильеру 1. На верхнем конце полого вала 4 закреплена крышка 8 со звёздочкой 7, которые установлены на ради-

ально-упорных подшипниках 6 корпуса 13. Полый вал установлен во втулке 5, расположенной в корпусе и препятствующей выходу расплава.

В нижней части корпуса расположена внешняя фильера 15, установленная на диске 2 и соединённая со звёздочкой 14. Звёздочка установлена в корпусе на радиально-упорном подшипнике 3. Внутри полого вала установлен стержень 9 с закреплённым на нём ширильным диском 16. Стержень 9 крепится к корпусу скобой 12. С помощью гаек 10 и 11 стержень 9 с диском 16 можно устанавливать на заданном уровне. Внешняя и внутренняя фильеры формируют стренги, из которых образуются ячейки сетки. Расплав, который подаётся в головку, продавливается через равномерно расположенные отверстия в фильерах. Фильеры вращаются от цепных передач через звёздочки 7 и 14. Поскольку фильеры вращаются в противоположных направлениях, стренги, которые выдавливаются из отверстий фильер, перекрещиваются и свариваются между собой, формируя рукавную сеточную заготовку с ромбовидными ячейками. Основным конструктивным отличием головки является то, что обе фильеры (внешняя и внутренняя) выполнены из стали и имеют ступенчатое соединение. Соблюдение необходимых размеров зазоров между фильерами препятствует проникновению расплава через эти зазоры и обеспечивает минимальное изнашивание фильер.

В Украинском научно-исследовательском институте по разработке машин и оборудования для переработки пластических масс, резины и искусственной кожи (УкрНИИпластмаш; г. Киев, Украина) созданы аналогичные немецким, итальянским и российским универсальные линии по производству безузловых сеток с ромбовидными ячейками [89]. Так, на агрегате АС 63-650 можно получать рукавные полимерные сетки с прямоугольными ячейками (ширина сетки в сложенном виде от 450 до 650 мм, размеры ячеек 15×15 мм) из ПЭВД и ПЭНД методом экструзии через угловую кольцевую головку с осциллирующим дорном (рис. 3.5).

На линии ЛБС 45-600 можно получать рукавные полимерные сетки с ромбическими ячейками (максимальная ширина сетки в сложенном виде: неориентированной – 400 мм, ориентированной – 1200 мм) из ПЭВД, ПЭНД и ПП методом экструзии через угловую кольцевую головку (рис. 3.6).

ООО «Интегратор-99» (г. Минск, Беларусь) предлагает линию GSB-Z1000 для производства плоской двухосноориентированной геосетки из ПЭ, ПП или их смеси [98]. На линии осуществляются следующие технологические операции: смешение компонентов (ПЭ, ПП, добавки); автоматическая загрузка смеси компонентов в экструдер; экструзия плоского листа; каландрование; охлаждение и продольная обрезка; нагрев; перфорирование; продольное ориентирование; поперечное ориентирование; резка и намотка; контроль качества готовой двухосноориентированной сетки. Аналогичная линия и способ изготовления одно- или двухосноориентированной сетки с прямоугольными ячейками описаны в патенте [52].

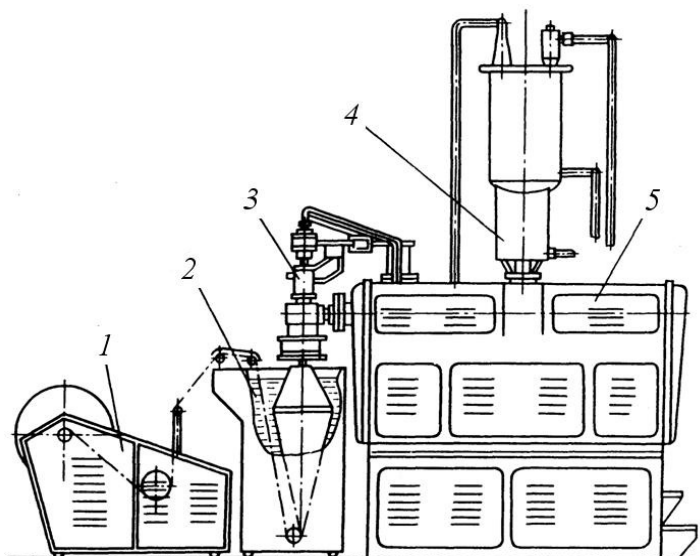


Рис. 3.5. Схема агрегата АС 63-650 для производства рукавных полимерных сеток (УкрНИИпластмаш, Украина): 1 – приёмно-тянущее устройство; 2 – ванна охлаждения; 3 – кольцевая сеточная головка; 4 – устройство нагрева и подсушки полимерных гранул; 5 – червячный экструдер ЧП 63×20

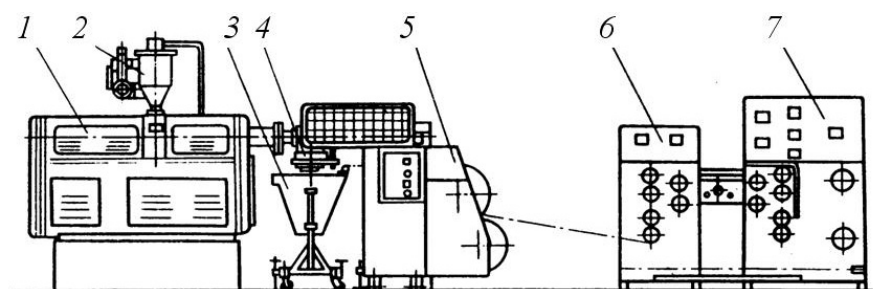


Рис. 3.6. Схема линии ЛБС 45-600 для производства безузловых рукавных сеток из полиолефинов (УкрНИИпластмаш, Украина): 1 – червячный экструдер ЧП 45×25; 2 – устройство нагрева и подсушки полимерных гранул; 3 – ванна охлаждения; 4 – кольцевая сеточная головка; 5 – приёмно-тянущее устройство; 6 – подающее устройство; 7 – вытяжное устройство

На рис. 3.7 представлена схема технологической линии по изготовлению способом «трикаль» полимерных сеток с прямоугольными ячейками от французской фирмы «Рикаль» [4].

Фирма изготавливает линии на базе экструдеров с диаметром червяка 45, 60 и 90 мм (в зависимости от параметров и назначения сетки). Благодаря большому выбору сменных формующих инструментов обеспечивается возможность получения широкого ассортимента сеток из ПЭВД, ПЭНД, ПП, ПВХ и других термопластов.

Сетки изготавливают в виде рукавов с ячейками прямоугольной или квадратной формы размером от 1×1 до 50×50 мм, толщиной стренг от 0,3 до 5 мм и шириной рукава в сложенном виде от 30 до 650 мм. При необходимо-

сти рукав можно разрезать на одно или два полотна.

Технологический процесс получения сетки следующий. Предназначенный для переработки гранулированный материал загружается в бункер экструдера 1. Червяк экструдера вращается и перемещает гранулы к угловой сеточной головке 3.

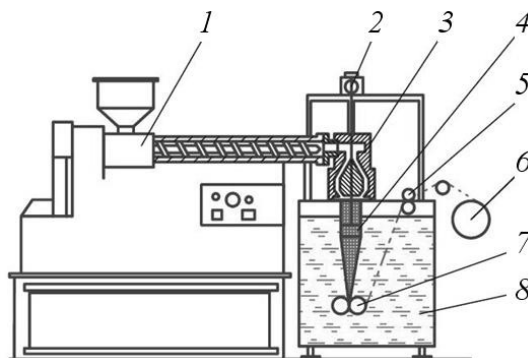


Рис. 3.7. Схема технологической линии по производству полимерных сеток фирмы «Рикаль»: 1 – экструдера; 2 – привод вращения фильер головки; 3 – угловая сеточная головка; 4 – ширильная оправка; 5, 7 – тянущие и направляющие валки, соответственно; 6 – намоточное устройство; 8 – ванна охлаждения

При движении частицы полимера, нагреваясь, постепенно размягчаются до вязкотекучего состояния. Полученный однородный расплав продавливается червяком в угловую сеточную головку 3, из которой сформованная в виде рукава сетка подаётся в ванну охлаждения 8. Для предотвращения слипания и деформации сетка подаётся на ширильную оправку 4, которая представляет собой цилиндр с диаметром большим, чем диаметр рукава. Охлаждённая сетка в виде сложенного рукава подаётся направляющими 7 и тянущими 5 валками к намоточному устройству 6, где и наматывается в рулоны. Прямоугольная или квадратная форма ячеек и отсутствие узлов позволяют легко ориентировать сетку. Прочность ориентированных сеток по сравнению с прочностью обычных сеток увеличивается в несколько раз. Процесс ориентации заключается в том, что сетку предварительно нагревают до установленной температуры и растягивают в продольном и поперечном направлениях до заданных размеров (в зависимости от вида полимера, из которого изготовлена сетка). Поперечная ориентация рукавной сетки осуществляется на оправке, представляющей собой конус, собранный из нескольких алюминиевых дисков. Продольная ориентация осуществляется за счёт вытяжки сетки в продольном направлении – аналогично процессу ориентации безузловых сеток. По данным фирмы «Рикаль», максимальное укрепление сетки достигается при увеличении поперечных и продольных размеров ячеек сетки: из полипропилена в 3 раза, из полиэтилена – в 2 раза, из ПВХ – в 4–5 раз и из полиамидов – в 5 раз. Для ориентации сетки в виде плоского полотна, полученного путём разреза-

ния рукава, можно использовать установки, на которых выполняется двухосная ориентация полимерных плёнок, в том числе с применением клуппов.

Китайская фирма Taian modern plastic Co, Ltd [103] выпускает несколько видов технологических линий по производству полимерных сеток, в том числе:

- экструзионную линию для производства плоских полимерных сеток с ромбическими ячейками из полиэтилена низкого давления (из рукавной сетки-заготовки); основу линии составляет одночервячный экструдер с диаметром червяка 65 мм и отношением длины его рабочей части к диаметру 25:1, частота вращения червяка – 10...90 об/мин; диаметр формирующей щели кольцевой вращающейся экструзионной сеточной головки составляет 230 мм, максимальная ширина получаемой сетки – 2200 мм, скорость намотки сетки – до 4,3 м/мин;

- экструзионные линии для производства одно- и двухосноориентированных полимерных геосеток, получаемых вырубкой части рулонного материала с образованием ячеек и последующей одно- или двухосной ориентации; каждая из линий включает червячный экструдер с переходником и экструзионной головкой, трёхвалковый каландр, охлаждающее устройство отформованной сетки-заготовки, натяжное устройство, вырубную машину, устройство продольной ориентации; устройство предварительного нагрева с формирующим валком, устройство поперечной ориентации, охлаждающее устройство отформованной сетки, намоточное устройство с устройством для поперечной резки для получения рулона сетки определённой длины, систему управления; ширина получаемых геосеток (в зависимости от назначения) – от 1800 до 6000 мм, габаритные размеры линии – 80×11×4,8 м; установочная мощность – 315...550 кВт; годовая производительность – до 4000 т.

Кроме технологических линий и агрегатов для изготовления полимерных сеток непосредственно из расплава термопласта разработаны и изготовлены машины для изготовления полимерных сеток скруткой предварительно полученных стренг (нитей, полос и т.д.) [13, 18, 54]. Такие сетки получили широкое применение в качестве упаковочных материалов для транспортировки и хранения сельскохозяйственной продукции. Сами же машины для изготовления таких сеток, получаемых сплетением, во многом аналогичны соответствующему оборудованию, применяемому в лёгкой промышленности.

3.10. Выводы

В третьем разделе рассмотрены типовые технологические линии для получения рукавных и плоских полимерных сеток на базе червячных экструдеров. Следует отметить, что рассмотренные линии также могут быть укомплектованы и другими единицами оборудования, назначение которых определяется конструкцией и размерами получаемых сеток. К такому специальному оборудованию, прежде всего, можно отнести устройства для специфического соединения отформованных стренг в сеточное полотно.

4. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

4.1. Общие сведения

Наибольшее распространение в промышленных масштабах получили полимерные сетки, получаемые методом экструзии расплава через продольные отверстия в соосно расположенных и вращающихся в противоположных направлениях фильерах, а также внешним соединением стренг между собой.

Однако в публикациях по технологии этих изделий практически отсутствуют сведения, касающиеся исследования прочности соединения стренг между собой в местах их взаимного пересечения. В этой связи авторами была исследована работа экспериментальной экструзионной установки с диаметром червяка 60 мм и отношением длины червяка к диаметру 20:1. Перерабатываемым материалом был ПЭВД марки 15803–020 ГОСТ 16337–77. Экструзионная головка для формирования заготовки сетки аналогична кольцевой головке фирмы «NSW» (ФРГ) со следующими параметрами: диаметр матрицы – 50 мм; диаметр отверстий – 0,85 мм; количество отверстий – 50; диаметр ширильного диска – 80 мм; частота вращения головки – 8 об/мин; скорость вытяжки сетки – 8 м/мин; степень ориентации сетки – 4.

Прочность сварных узлов определялась на разрывной машине РПМ-50. С этой целью из сетки в её продольном направлении вырезался фрагмент длиной 100 мм. Для предупреждения пережатия стренг в захватах машины концы сетки зажимались через кожаные прокладки. Опыты проводились при скорости перемещения захватов 65 мм/мин. Анализировались элементы сетки, образованные двумя стренгами, имеющими взаимное пересечение (т.е. узлы). Образцом, выдержавшем испытания, считался тот, который при растягивании не разрушался в месте соединения стренг (т.е. узлы которого сохраняли свою целостность). Исследование влияния температуры расплава на прочность соединения проводилось на образцах, изготовленных при температуре расплава в диапазоне от 130 до 220 °С. При этом усилие, необходимое для разрыва узла сетки, с повышением температуры расплава возрастало (рис. 4.1, 4.2). До температуры расплава 180 °С вследствие расслаивания мест взаимного контакта (нахлестки) стренг образцы разрывались в узле. С увеличением температуры прочность соединения стренг между собой возрастала, но при этом в местах их соединения очертания отдельных стренг размывались активнее, а структура узла постепенно приближалась к монолиту (рис. 4.3).

При ориентации сеток, сформованных из высокотемпературного расплава, стренги вытягиваются с образованием «шейки» на участках стренг между узлами (т.е. в средних частях сторон ромба), а сам узел участия в процессе вытяжки практически не принимает (рис. 4.3,а). Прочность сеток при этом возрастает, сама сетка из матовой превращается в прозрачную и блестящую, а узлы принимают вид монолитных горошин.

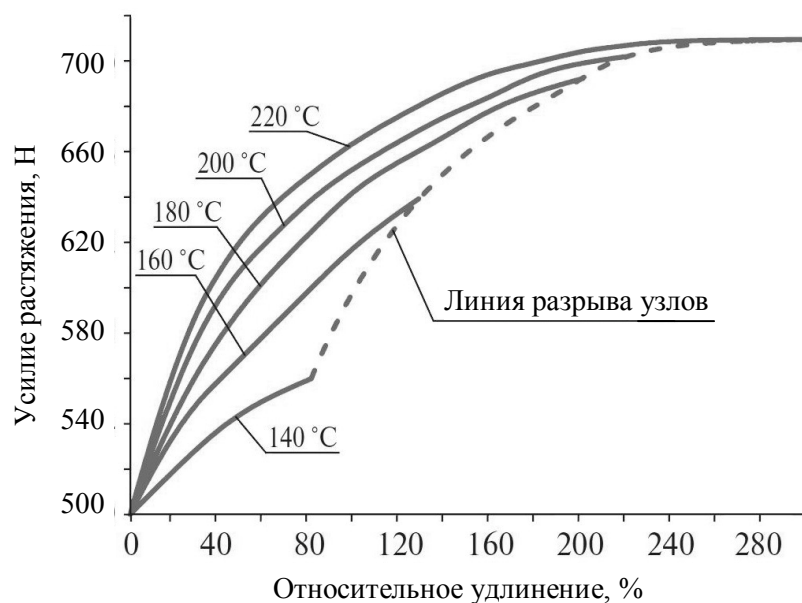


Рис. 4.1. Зависимость усилия растяжения сетки от её относительного удлинения при различной температуре расплава ПЭВД марки 15803–020 (ГОСТ 16337–77)

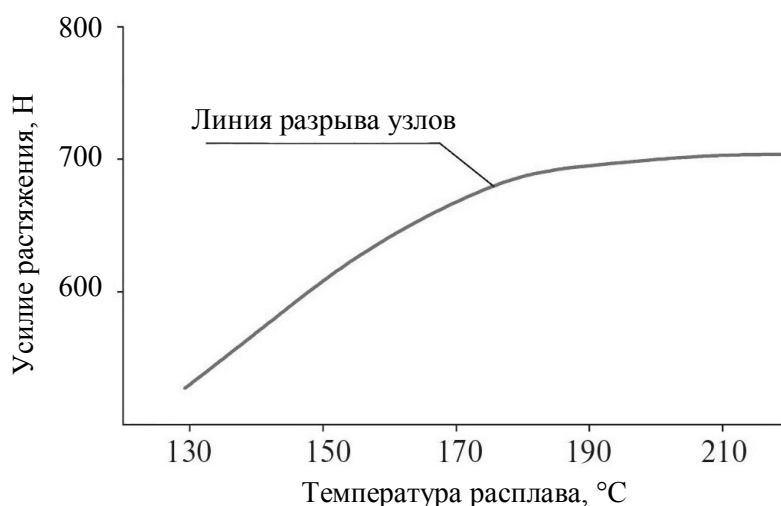


Рис. 4.2. Зависимость усилия разрыва узлов сетки от температуры расплава ПЭВД марки 15803–020 (ГОСТ 16337–77)

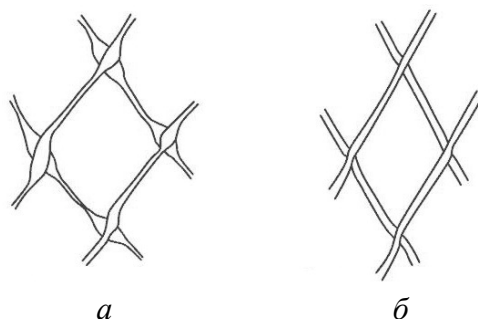


Рис. 4.3. Различные формы ячеек сетки из ПЭВД марки 15803–020 (ГОСТ 16337–77) после ориентации: а – высокотемпературный режим (160–220 °C); б – низкотемпературный режим (130–150 °C)

Сетки, полученные из низкотемпературного расплава, не подлежат ориентации вследствие слабой связи стренг в узле: сетка при этом вытягивается, как пучок стренг, не связанных друг с другом. В этом случае «шейка» между узлами не образуется, а сами узлы нередко разрушаются (рис. 4.3,б).

4.2. Изготовление армированной сеткой рукавной плёнки из полиэтилена

Одним из наиболее широко используемых видов продукции из полимерных материалов являются полимерные плёнки, неизменным потребителем которых является сельское хозяйство [15, 22].

Полимерные плёнки сельскохозяйственного назначения, которые обычно изготавливают из полиэтилена, преимущественно используют в культивационных сооружениях (теплицах и парниках) для выращивания рассады и овощей. Срок службы таких плёнок, изготовленных из нестабилизированного полиэтилена, обычно не превышает 3–4 месяцев, т.е. одного сезона. Переход на производство стабилизированных плёнок со сроком службы 6–8 месяцев позволил бы более полно удовлетворить потребности сельского хозяйства, однако основным сдерживающим фактором в этом плане является недостаточные производственные мощности по получению этого материала.

Полимерные плёночные материалы, применяемые в растениеводстве для ограждения культивационных сооружений, являются одним из видов конструкционных пластмасс, которые традиционно развиваются опережающими темпами, поскольку относятся к разряду высокоэффективной продукции. Недостаточно высокое качество полимерных плёночных материалов, применяемых для обустройства теплиц и парников, а также небольшой срок их эксплуатации является одной из основных причин того, что потребитель ощущает постоянный дефицит в высококачественных и одновременно относительно дешёвых плёночных материалах, отвечающих мировому уровню.

В этой связи были проведены исследования по созданию нового технологического оборудования, на котором можно было бы производить полимерные плёночные материалы с повышенным сроком службы в атмосферных условиях. На созданной в Киевском политехническом институте опытно-промышленной установке было получено несколько видов новых армированных полиэтиленовых плёнок, метод оценки эксплуатационных свойств которых [26, 96] показал их потенциальную перспективность.

Как уже было сказано, основным потребителем полимерных плёночных материалов в сельском хозяйстве являются культивационные сооружения (парники и теплицы). Значительная часть таких плёнок изготавливается из ПЭВД, который характеризуется наличием обширной сырьевой базы, сравнительно низкой стоимостью и высокой светопрозрачностью. Основным недостатком этих плёнок – невысокая атмосферостойкость. Плёнки из поливинилхлорида, хотя и обладают более высокой атмосферостойкостью, но их высо-

кая стоимость, ползучесть под нагрузкой и негативное влияние на развитие рассады являются причиной их ограниченного применения в культивационных сооружениях.

Эксплуатационные свойства полиэтиленовых плёнок, применяемых в культивационных сооружениях, определяются следующими основными параметрами, выраженными в баллах [27, 96]:

- 1) светопрозрачностью для видимой части солнечного спектра (P_B); при этом различают исходную светопрозрачность (P_{BH}) и светопрозрачность полимерных плёнок в конце срока их службы (P_{BK});
- 2) прозрачностью для ультрафиолетовой (УФ) радиации ($P_{yф}$);
- 3) способностью задерживать тепловую радиацию (P_T);
- 4) способностью противостоять запылению (K_3);
- 5) способностью образовывать конденсат (P_{cm});
- 6) сроком службы в атмосферных условиях (C_L).

Большее значение показателей соответствует более высокому качеству полимерной плёнки. Соответственно, чем выше сумма перечисленных показателей, тем выше качество полимерной плёнки. (При этом все параметры полимерной плёнки принимаются равноценными, хотя в зависимости от условий эксплуатации и технологического процесса обрабатываемых растений логично было бы введение для каждого из них весового коэффициента.)

Для культивационных сооружений наибольшее распространение получили следующие плёнки из полиэтилена [96]:

- 1) плёнка полиэтиленовая нестабилизированная, получаемая из ПЭВД преимущественно марок 10803-020 и 15803-020 по ГОСТ 16337-77 (условное обозначение ПЭ);
- 2) плёнка полиэтиленовая стабилизированная, получаемая из ПЭВД марки 108-08 (условное обозначение ПЭС);
- 3) плёнка полиэтиленовая стабилизированная гидрофильная, получаемая из ПЭВД марки 108-82 (ПЭСТ);
- 4) плёнка полиэтиленовая стабилизированная теплоудерживающая, изготовленная из ПЭВД марки 158-143 (ПЭСТУ);
- 5) плёнка полиэтиленовая стабилизированная гидрофильная с повышенной прозрачностью для УФ-радиации, изготовленная из ПЭВД марки 158-178 (ПЭСГУФ);
- 6) плёнка полиэтиленовая армированная по ТУ 6-19-27-78 (ПЭА).

Поскольку качество плёночных материалов, применяемых для ограждения культивационных сооружений, характеризуется многими показателями, то для сравнения их эксплуатационных свойств желательно пользоваться одним показателем качества P_K , методика расчёта которого в баллах предложена в работе [96]. Для рассмотренных типов полимерных плёночных материалов его значения (как и значения его составляющих) приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Эксплуатационные свойства плёночных материалов [96]

Материал	P_{BH}	P_{BK}	P_3	P_T	$P_{yф}$	P_{CM}	$C_{л}$	P_K
ПЭ	8	1	3	2	7	1	4	26
ПЭС	8	3	3	2	1	1	8	26
ПЭСТ	8	5	5	4	1	5	9	35
ПЭСТУ	7	4	5	9	1	5	6	37
ПЭСТУФ	8	4	5	5	7	5	5	39
ПЭА	7	2	3	4	1	3	10	30

Как видно из табл. 4.1, стабилизация полиэтиленовых плёнок не даёт повышения показателя качества, поскольку снижается проницаемость для УФ-радиации (утраченные при этом баллы компенсируются баллами, приобретёнными за счёт повышения срока службы плёнки). Армирование плёнок методом дублирования или ламинирования приводит к двукратному увеличению их толщины в ячейках и снижению их проницаемости. Что касается тепловой радиации, то это даёт дополнительные баллы. Повышение показателя качества на 5 баллов по сравнению с обычной однослойной плёнкой, т.е. моноплёнкой, достигается только за счёт повышения срока службы. Однако почти четырёхкратное увеличение стоимости армированной плёнки по сравнению с обычной моноплёнкой и повышение её материалоемкости не учитывается показателем P_K , характеризующим только эксплуатационные свойства. Существенное увеличение стоимости армированной плёнки по сравнению с обычной моноплёнкой объясняется двукратным увеличением расхода полимера, высокой стоимостью армирующей сетки и технологического оборудования, а также трудоёмкостью многостадийной технологии армированной плёнки.

Именно поэтому потребители не проявляют особой заинтересованности в приобретении армированных полиэтиленовых плёнок, а производственные мощности, предназначенные для их производства, не получают интенсивного развития.

Промышленные методы получения плёночных армированных материалов (ПАМ), применяемых для ограждения культивационных сооружений, можно разделить на следующие группы:

- 1) производство плоских ПАМ методом дублирования;
- 2) производство плоских ПАМ методом ламинирования;
- 3) производство рукавных ПАМ методом ламинирования;
- 4) производство рукавных ПАМ методом соэкструзии.

Плоские ПАМ, получаемые методом дублирования, состоят из трёх слоев: два наружных слоя выполнены из ПЭВД моноплёнки, а внутренний слой – из армирующей сетки, изготовленной из стеклоровинга или стренг предельно ориентированного термостойкого термопласта, которые в узлах скреплены обычно с помощью клея. Между армирующей сеткой и плёночными слоями сварные швы не образуются, поэтому сцепление между стеклоровингом и

плёночными слоями незначительное. Внутри ячеек такая полимерная плёнка имеет толщину, равную двум толщинам внешних плёночных слоёв.

Для того, чтобы избежать утонения плёночных слоёв в области контакта со стренгами армирующей сетки, давление между моноплёнками в процессе сварки слоёв создают сжатым воздухом, действующим только на внешнюю поверхность свариваемых слоёв, а также играющим роль теплоносителя.

К недостаткам ПАМ, получаемых методом дублирования, относятся:

- более чем двукратное (по сравнению с исходной моноплёнкой) увеличение материалоемкости;
- многостадийность процесса изготовления, который включает производство исходной моноплёнки, производство армирующих стренг, изготовление армирующей сетки, процесс дублирования с целью получения ПАМ;
- отсутствие сварных швов между плёнкой и армирующей сеткой, что является причиной разрушения и выпадения участков плёнки из ячеек армирующей сетки в процессе эксплуатации под воздействием ветровых и снеговых нагрузок;
- высокая стоимость таких ПАМ;
- снижение светопрозрачности и проницаемости для УФ-радиации, что приводит к снижению урожайности растений и особенно отражается на интенсивности роста рассады.

Основное преимущество таких плёнок – повышенный срок службы при эксплуатации в атмосферных условиях.

Процесс получения плоских ПАМ методом ламинирования осуществляется следующим образом. К выходному сечению плоскощелевой экструзионной головки с помощью валков подаётся плоская полиэтиленовая моноплёнка, на которой свободно наложена плоская армирующая сетка, изготовленная из стеклоровинга или предельно ориентированных стренг термостойкого термопласта. На минимальном расстоянии от выходного сечения экструзионной головки на подложку «плёнка – сетка» накладывается экструдат расплава полиэтилена в виде плоской плёнки, температура которой составляет 230–250 °С. Являющаяся подложкой полиэтиленовая моноплёнка в зоне контакта с расплавом нагревается до температуры выше температуры плавления, а расплав соответственно охлаждается, однако его температура при этом не падает ниже температуры плавления полимера. За время остывания до температуры затвердевания в зоне контакта образуется сварной шов, прочность которого определяется интенсивностью и длительностью процесса взаимодиффузии.

Недостатки и преимущества плоских ПАМ, полученных методом ламинирования, аналогичны недостаткам и преимуществам ПАМ, полученных методом дублирования.

Производство рукавных ПАМ методом ламинирования нашло промышленное применение только при использовании плотных, преимущественно,

тканых рукавных армирующих сеток [87]. Метод заключается в том, что на изготовленный рукав армирующей сетки методом ламинирования наносится рукавная моноплёнка в виде расплава, выходящего из кольцевой экструзионной головки, охватывающей сеточный рукав. Прижатие экструдата к армирующей сетке осуществляется сжатым воздухом, воздействующим на внешнюю поверхность плёночного рукава. Благодаря внешнему давлению расплав проникает через ячейки армирующей сетки и заполняет зазоры между её стренгами, образуя надёжное сцепление с армирующей сеткой. Цилиндрическая форма придаётся армирующей сетке с помощью внутреннего ширительного дорна, термостатируемого при комнатной температуре, что позволяет устранить налипание расплава на поверхность дорна. Преимуществом этого метода является то, что в ячейках получаемого ПАМ образуется моноплёнка, благодаря чему расход полимерного материала на единицу площади ПАМ можно свести до минимума.

Очевидным недостатком этого метода является его многостадийность, поскольку армирующая рукавная сетка должна быть изготовлена заранее. Также недостатком метода является то, что армирующая сетка обязательно должна быть достаточно плотной, чтобы устранить разрывы плёнки расплава, движущейся относительно неподвижного дорна. Чем больше размеры ячеек сетки, тем больше вероятность образования таких разрывов и тем труднее обеспечить равномерность плёнки в ячейках армирующей сетки. С другой стороны, при повышении плотности армирующей сетки снижается её светопроницаемость, что является серьёзным препятствием для применения ПАМ в культивационных сооружениях.

Существенным недостатком *производства рукавных ПАМ методом со-экструзии* является сложность конструкции и эксплуатации большинства используемых экструзионных головок. Очевидным же преимуществом такого метода является его одностадийность.

Таким образом, в результате анализа условий эксплуатации ПАМ, применяемых для ограждения культивационных сооружений, можно сформулировать основные требования, предъявляемые к разрабатываемому методу армирования, который должен обеспечить:

- 1) возможность получения ПАМ в одну стадию непосредственно из крупнотоннажного полимерного сырья – гранулированного полиэтилена высокого давления;
- 2) возможность нанесения армирующей сетки непосредственно на моноплёнку, что позволит свести до минимума материалоемкость получаемого ПАМ;
- 3) высокую светопроницаемость ПАМ и проницаемость для УФ-радиации;
- 4) максимальный срок службы ПАМ в условиях эксплуатации;

5) максимальное использование серийного комплектующего оборудования в установке для производства ПАМ;

6) минимальную производственную площадь, занимаемую технологической установкой;

7) возможность обслуживания установки одним оператором;

8) максимальную производительность технологической установки;

9) максимальную ширину плёночного полотна;

10) минимальную энергоёмкость технологического процесса.

Единственным методом, удовлетворяющим сформулированным выше требованиям, является метод созкструзии рукавной моноплёнки и армирующей безузловой сетки с последующей их сваркой после выхода из экструдера.

Известен аналогичный метод [35], применяемый для производства армированных трубчатых изделий типа шлангов, имеющих значительную толщину стенки. Однако в отечественной и мировой практике такой метод не нашёл применения для производства рукавных ПАМ по двум причинам:

1) при производстве армирующей сетки необходимо обеспечить минимальный кольцевой зазор между вращающимися навстречу двумя сеточными фильерами, формующими стренги армирующей сетки; при диаметре фильер менее 100–300 мм решение такой проблемы для технологов и машиностроителей не вызывает особых затруднений, в то же время при диаметре фильер более 300 мм температурные изменения их размеров достигают значений, превосходящие величину указанного зазора; при минимальном зазоре возрастает вероятность заклинивания фильер, а при максимальном – возрастают утечки расплава, что приводит к выходу бракованной продукции;

2) при производстве рукавной плёнки толщиной 150–200 мкм и рукавной безузловой полимерной сетки с диаметром стренг 0,5–0,7 мм происходит их интенсивное охлаждение, сопровождаемое снижением скорости диффузионных процессов в зоне контакта сетки и плёнки, что является серьёзным препятствием для достижения требуемой прочности сварного шва между ними; при этом для обеспечения достаточной прочности сварного шва между плёнкой и сеткой изготавливаемого ПАМ необходимо обеспечить минимальное расстояние между выходами потоков экструдата из плёночной и сеточной секций головки и местом контакта указанных потоков между собой.

Для устранения причин, препятствующих использованию метода созкструзии для производства рукавных ПАМ, необходим принципиально новый подход к конструированию формующего инструмента – кольцевой экструзионной головки.

В результате авторами была разработана конструкция экструзионной головки, принципиальные особенности которой описаны в [3], а также технологический процесс изготовления ПАМ.

Принципиальная схема соэкструзионной головки представлена на рис. 4.4*.

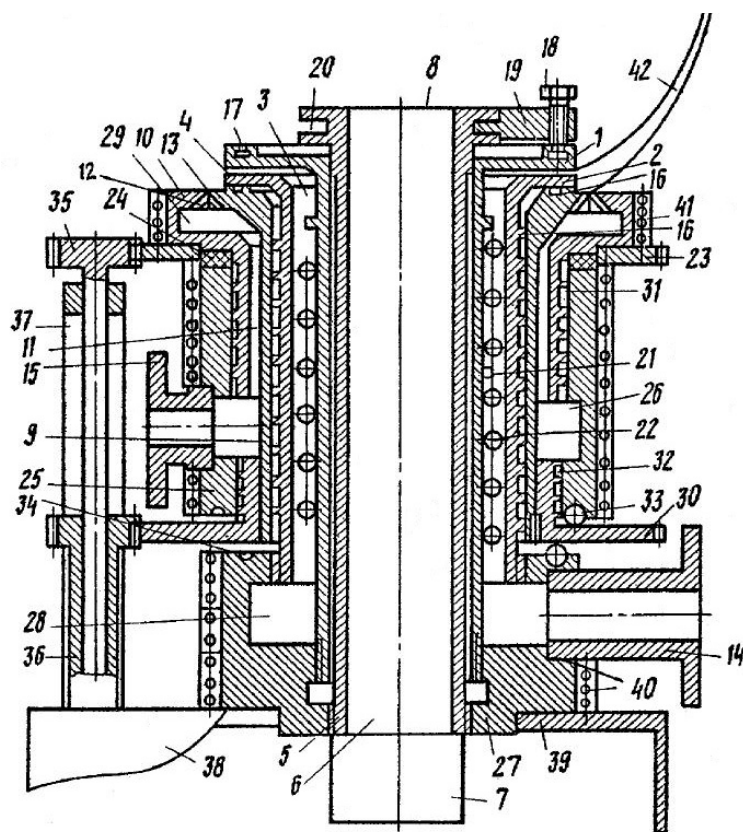


Рис. 4.4. Принципиальная схема устройства соэкструзионной головки для формования полимерных плёночных материалов, армированных полимерной сеткой

Устройство содержит основные дорн 1 и матрицу 2, смонтированные с образованием распределительного канала 3, переходящего в кольцевую щель 4 для формования рукавной плёнки. Внутри основного дорна 1 расположена неподвижная втулка 5 с центральным каналом 6 для подачи сжатого воздуха. Один торец втулки 5 соединён с устройством для растяжения рукавной плёнки, выполненным в виде источника 7 сжатого воздуха, а на втором торце втулки 5 выполнено отверстие 8 для выхода сжатого воздуха.

На основной матрице 2 с возможностью вращения смонтированы дополнительные дорн 9 и матрица 10, образующие между собой второй распределительный канал 11, переходящий в расположенные по окружности концентрично кольцевой щели 4 формующие отверстия 12 и 13. Распределительные каналы 3 и 11 соединены с двумя экструдерами с помощью патрубков 14 и 15. Основная матрица 2 в зоне контакта с дополнительным дорном 9 имеет винтовую нарезку 16, направление которой обратно направлению вращения дополнительного дорна 9. Основной дорн 1 головки на калибрующем участке

* Работа проводилась под руководством к.т.н., доц. Гончаренко В.В. (НТУУ «КПИ») [7].

имеет фланец с кольцевой Т-образной выточкой 17, в которую входят Т-образные выступы болтов 18. Указанные болты 18 с помощью резьбы соединятся с кулачками 19, хвостовики которых выполнены с возможностью тангенциального перемещения по фланцу 20 на центральной неподвижной втулке 5. На внешней цилиндрической поверхности основного дорна 1 имеются кольцевые выступы 21 с окнами, через которые проведена спираль 22, введенная в распределительный канал 3. Дополнительная матрица 10, содержащая зубчатый венец 23 и антифрикционное кольцо 24, входит в неподвижную обойму 25. В зоне крепления патрубка 15 к дополнительной матрице 10 выполнен кольцевой коллектор 26. Неподвижные основные матрица 2 и дорн 1, а также неподвижная втулка 5 установлены на резьбе в корпусе 27, который в зоне крепления патрубка 14 имеет кольцевой коллектор 28. На входе в формирующие отверстия 12 дополнительные дорн 9 и матрица 10 образуют подвижный коллектор 29. На наружной цилиндрической поверхности дополнительной матрицы 10 и вал-шестерни 30 выполнены уплотнительные нарезки 31 и 32. Вал-шестерня 30, имеющая жесткое соединение с дополнительным дорном 9, зафиксирована в осевом 20 направлении с помощью нижнего и верхнего ряда шариков 33, уложенных на беговых дорожках 34. Зубчатый венец 23 и вал-шестерня 30 находятся в зацеплении с вал-шестернями 35 и 36, вращающимися в противоположных направлениях. Вал-шестерня 35 установлен на подшипнике в кронштейне 37, который крепится к редуктору 38. Корпус 27 и редуктор 38 установлены на раме 39. На внешней поверхности устройства смонтированы электронагреватели 40 и 41.

Головка работает следующим образом.

При подаче расплава через патрубок 14, коллектор 28, распределительный канал 3 и кольцевую щель 4 формируется плёночный рукав 42, который раздувается сжатым воздухом, поступающим через отверстие 8 центрального канала 6, и охлаждается воздухом, поступающим из внешнего охлаждающего устройства. Равнотолщинность плёночного рукава 42 достигается путём регулирования положения болтов 18, а однородность по периметру плёночного рукава 42 – путём закручивания и дросселирования потока в распределительном канале 3 с помощью спирали 22.

При подаче расплава через патрубок 15, коллектор 26, кольцевой распределительный канал 11, подвижный коллектор 29 и формирующие отверстия 12 и 13 происходит экструзия стренг. При вращении в противоположных направлениях дополнительных дорна 9 и матрицы 10 формируемые стренги пересекаются, и в местах их пересечения образуются узлы со сварным швом, т.е. образуется сетка. Далее сформованная сетка входит в контакт с расплавленным плёночным рукавом 42, при этом в местах контакта плёнки и сетки образуется сварной шов. Прижатие пленки к сетке осуществляется под действием избыточного давления внутри плёночного рукава 42. Положение дополни-

тельных дорна 9 и матрицы 10 в осевом направлении определяется толщиной сменного антифрикционного кольца 24. Крутящий момент на дополнительные дорн 9 и матрицу 10 передают через зубчатый венец 23 и вал-шестерню 30, которые входят в зацепление с вал-шестерней 35–36. Расплав, попадающий из коллектора 26 в зазоры между неподвижной обоймой 25 с одной стороны и вращающимися дополнительной матрицей 10 и вал-шестерней 30 с другой, увлекается уплотнительными нарезками 31 и 32 в сторону коллектора 26. Частицы материала, попавшие в зону контакта основной матрицы 2 с дополнительным дорном 9, захватываются витком нарезки 16 и уносятся из данного участка, что предотвращает налипание указанных частиц на плёночный рукав и способствует повышению его качества. Плёночный рукав 42 снаружи обдувают холодным воздухом, складывают и направляют на намоточное устройство.

Таким образом, использование предложенного устройства позволяет изготавливать на одном устройстве рукавное изделие, состоящее из плёнки и сетки. При этом отпадает необходимость в использовании отдельной технологической линии для изготовления сетки, что снижает себестоимость производимой армированной рукавной плёнки. Также, поскольку материалы плёнки и сетки находятся в расплавленном состоянии, обеспечивается высокая прочность их соединения между собой, а значит и производимой рукавной армированной плёнки.

Конструкция экструзионной головки для производства рукавных армированных плёнок разрабатывалась применительно к промышленной линии для производства двухслойных рукавных плёнок типа ЛРП 63/63-1000, в комплект которой входят два червячных экструдера типа ЧП 63×20, эстакада, на которой смонтировано тянущее устройство, а также намоточное устройство. Базовая экструзионная головка была заменена на головку разработанной конструкции, в комплект которой входит электропривод вращения фильер её сеточной секции, а также устройство для внешнего охлаждения плёночного рукава и устройство для раздува плёночного рукава.

Разработанная технология путём изменения толщины и ширины плёночного рукава, размеров ячеек и диаметра стренг армирующей сетки позволяет получать различные типоразмеры ПАМ, а также использовать различные сочетания полимерных материалов, применяемых для изготовления плёночного и сеточного слоёв ПАМ.

Было получено около 80 кг новых рукавных ПАМ массой 0,16–0,20 кг/м², шириной в сложенном виде 900–1000 мм, толщиной плёночного слоя 120–150 мкм, диаметром стренг армирующей сетки 0,5–0,7 мм, размером ромбических ячеек сетки 23–43 мм. При этом материалом плёночного слоя служил ПЭВД марки 15803-020 (ГОСТ 16337–77), а материалом армирующей сетки – ПЭВД саженаполненный марки 108-902.

Процесс формования ПАМ проходил при следующих условиях: температура соэкструзионной головки – 180–200 °С; скорость вытяжки ПАМ – 0,0211–0,0239 м/с, массовая производительность – 28–35 кг/ч; степень раздува экструдата – 1,9–2,1; время поворота фильер сеточной секции головки – 78–102.

Сравнительная характеристика эксплуатационных свойств плёночных материалов, предназначенных для ограждения культивационных сооружений в принятых единицах измерения и баллах представлена в табл. 4.2 и 4.3.

Таблица 4.2. Сравнительная характеристика плёночных материалов

Характеристика	Моноплёнка из ПЭВД	Армированная плёнка по ТУ 6-19-27-78	Полученный ПАМ из ПЭВД
Светопроницаемость исходная, %	90	80	84
Снижение светопроницаемости в конце сезона эксплуатации, %	25	20	10
Проницаемость для УФ-радиации, %	65	5	65
Коэффициент пропускания тепловой радиации, %	85	60	45
Срок службы, месяцы	3–4	12	19
Масса 1 м ² , кг	0,10–0,15	260	160

Таблица 4.3. Сравнение показателей качества плёночных материалов в баллах

Характеристика	Моноплёнка из ПЭВД	Армированная плёнка по ТУ 6-19-27-78	Полученный ПАМ из ПЭВД
Светопроницаемость исходная	8	7	7
Сохранение светопроницаемости в конце сезона эксплуатации	1	2	4
Степень запыления	3	3	5
Способность задерживать тепловую радиацию	2	4	5
Проницаемость для УФ-радиации	7	1	7
Характер конденсата	1	3	5
Срок службы	4	10	10
Общий показатель качества	26	30	43

Примечание. Стоимость плёночного материала при оценке качества не учитывалась.

Из приведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1) если для повышения качества ПАМ используется метод дублирования, то повышение качества на 4 балла сопровождается пятикратным увеличением стоимости 1 м² ПАМ (по сравнению с моноплёнкой);

2) если для повышения качества ПАМ используется метод соэкструзии нестабилизированного ПЭВД, то повышение качества на 5 баллов сопровождается увеличением стоимости 1 м² ПАМ в 1,7 раза.

3) повышение качества ПАМ позволит при неизменном объёме их производства полнее удовлетворить потребности сельского хозяйства и повысить урожайность 1 м² теплиц в результате повышения урожайности (вследствие повышенной проницаемости для УФ-радиации).

Разработанная технология позволяет изготавливать рукавный плёночный армированный сеткой материал методом соэкструзии в одну стадию. Полученные образцы рукавного плёночного армированного материала из полиэтилена высокого давления шириной в сложенном состоянии до 1000 мм показали достаточно высокие преимущества перед традиционным плёночным неармированным материалом аналогичного назначения.

4.3. Выводы

Широкое использование сеток из полимеров обуславливают необходимость постоянного развития и усовершенствования технологий и оборудования для их производства. Анализ известных способов и устройств для изготовления полимерных сеток показал, что наиболее рациональными на данном этапе являются способы экструзии расплава через каналы в соосно расположенных фильерах (вращающихся или осциллирующих). Реализация этих способов позволяет получить достаточно широкий ассортимент сеток.

При этом основные тенденции технического развития технологий и оборудования для производства полимерных сеток обусловлены сложной совокупностью технологических, энергетических и экономических факторов. Наиболее вероятные пути решения этой проблемы – модульный подход при создании новой техники, использование новых полимеров и композиций на их основе, а также комплектация технологических линий в целом и их отдельных единиц оборудования эффективными средствами автоматизации.

5. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

5.1. Подготовка расплава

Для подготовки расплава полимера и его формования в виде заготовки сетки либо рулонного материала для дальнейшего получения из него сетки применяются экструдеры [8, 14, 25, 89, 90, 92, 95, 102]. Для обеспечения необходимых эксплуатационных свойств получаемой продукции в перерабатываемый полимер традиционно добавляют различные компоненты (наполнители, красители, стабилизаторы, антиоксиданты, пластификаторы и др.), которые необходимо равномерно распределить в объеме полимерной матрицы.

Для усреднения параметров много- либо однокомпонентного термопластичного материала (ТпМ) в его объеме – прежде всего температуры, плотности, концентраций компонентов – в первую очередь и предназначен процесс смешения. При этом в общем случае в экструдере реализуются все основные виды процесса смешения (рис. 5.1): гомогенизирующее (дистрибутивное, распределительное), диспергирующее, активирующее и комбинированное (чаще всего гомогенизирующе-диспергирующее) [6, 20, 100, 104].

Основным рабочим органом червячного экструдера являются один или два червяка, установленные в его корпусе (цилиндре) с возможностью вращения. Поскольку процесс смешения ТпМ обычно обеспечивают непосредственно в экструдере в условиях вязкотекучего состояния перерабатываемого материала, то смесительные элементы и устройства располагают преимущественно в зоне гомогенизации расплава ТпМ, т.е. в третьей функциональной зоне классического червячного экструдера [14–16, 23, 92, 95, 101, 102].

Эффективная вязкость перерабатываемых ТпМ обычно превышает 10 кПа·с [22, 24], поэтому процесс смешения компонентов в объеме всего потока ТпМ осуществляется вследствие вынужденной конвекции и реже – диффузии, поскольку время пребывания элементарного объема ТпМ в экструдере небольшое. Конвективный перенос компонентов ТпМ происходит как под непосредственным действием движущихся рабочих поверхностей смесительных элементов и устройств (чаще всего динамические и комбинированные смесители), так и под действием градиента давления, обеспечиваемого предыдущими функциональными зонами экструдера (чаще всего статические смесители).

Более эффективным является механизм смешения, основанный на одно- или многократном делении общего потока ТпМ на отдельные струйки и их дальнейшем слиянии между собой. Образующиеся отдельные струйки ТпМ движутся в осевом или радиальном (окружном) направлении червяка, а также под углом к его оси. Кроме того, указанные струйки могут как перестраиваться (обычно при гомогенизирующем смешении), так и не перестраиваться (обычно при диспергирующем смешении) между собой.

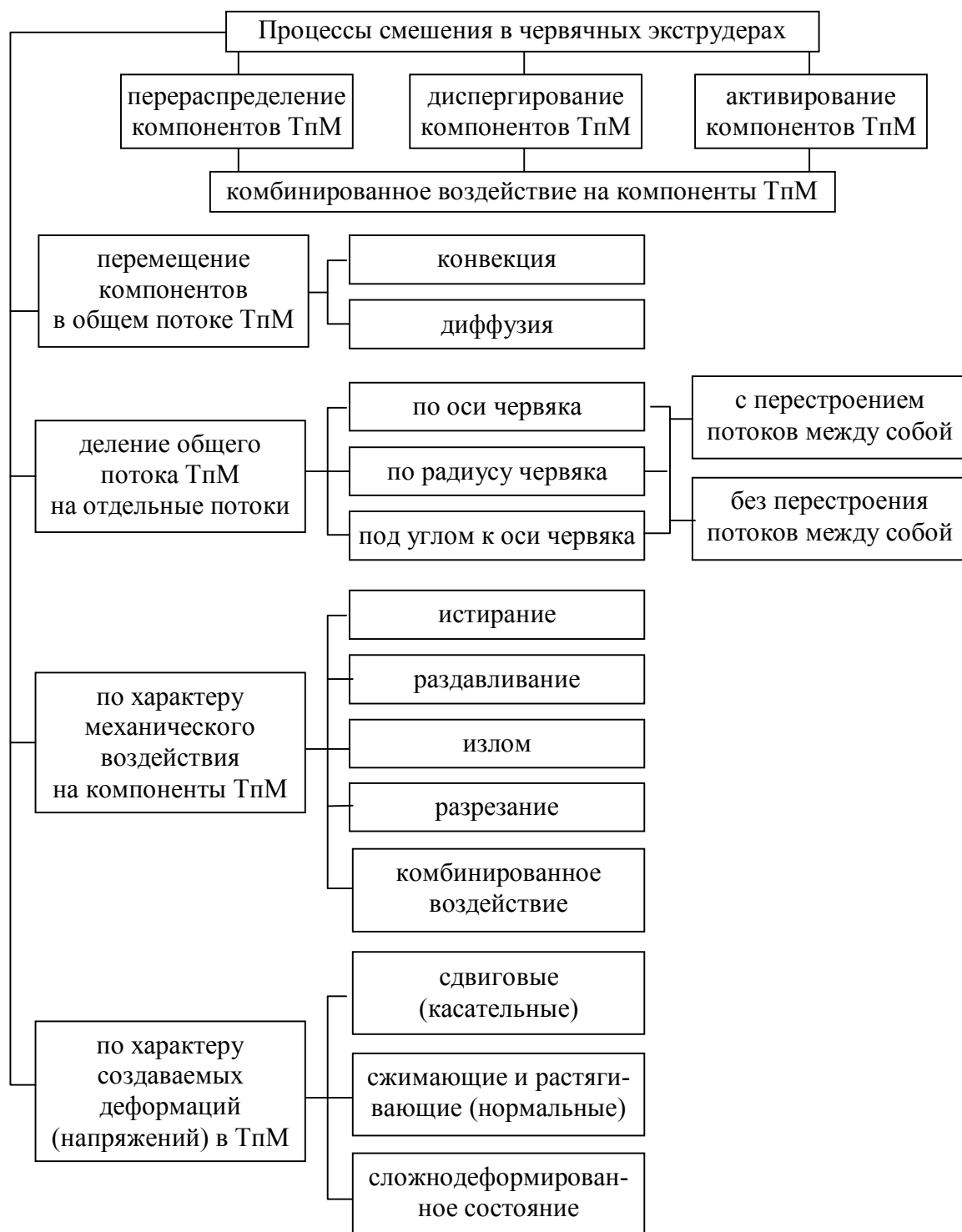


Рис. 5.1. Схема классификации смесительных эффектов в экструзионном оборудовании

В случае диспергирующего смешения уменьшение размеров частиц компонентов ТпМ осуществляется с помощью практически всех известных механизмов разрушения: истирания, раздавливания, излома, разрезания или их совместного действия (см. рис. 5.1).

И, наконец, процесс смешения во время экструзии осуществляется преимущественно под действием сдвиговых деформаций, приводящих к возникновению в ТпМ касательных напряжений. Намного реже смешение происходит под действием сжимающих и растягивающих деформаций, приводящих к возникновению нормальных напряжений, либо в условиях сложнодеформированного состояния ТпМ.

Разработчиками экструзионного оборудования предложены различные подходы для обеспечения качественного смешения в червячных экструдерах, однако, в научной и технической литературе уделено недостаточно внимания классификации разработанных смесительных элементов и устройств (авторы не рассматривают конструкции червячно-дисковых экструдеров, имеющих выполненный на червяке обычно в зоне гомогенизации по меньшей мере один диск с диаметром большим, чем диаметр червяка; червячно-дисковые экструдеры обычно выделяют в отдельный вид экструзионного оборудования).

Прежде всего, смесительные элементы подразделяются в зависимости от типа червячных экструдеров, в которых они используются: одно- либо двух-червячных (рис. 5.2).

При этом, несмотря на кажущуюся, на первый взгляд, возможность использования указанных элементов в обоих типах экструдеров, в ряде случаев смесительные элементы разрабатываются под определённый тип червячной машины (рис. 5.3).

В зависимости от наличия в смесительных элементах движущихся поверхностей, взаимодействующих с перерабатываемым ТпМ, их подразделяют на статические, динамические и комбинированные.

Статические элементы не имеют подвижных рабочих поверхностей, а смесительный эффект обеспечивается в основном за счёт многократного деления вязкотекучего ТпМ на отдельные потоки с последующим их слиянием (как с перестраиванием, так и без перестраивания их между собой). Такие элементы выполняют в виде разнообразных решёток, рассекателей, шайб и т.п., через отверстия и каналы которых ТпМ движется под воздействием давления, обеспечиваемого предыдущими функциональными зонами экструдера (рис. 5.4).

В конструкции статического смесителя [79] полый корпус выполнен из немагнитного материала и содержит размещённые в нём насадочные тела, изготовленные из магнитного материала с точкой Кюри, соответствующей температуре проведения процесса смешения, при этом с внешней стороны корпуса смонтирована катушка индуктивности. Перерабатываемый ТпМ последовательно движется через расположенный на входе в корпус переходник, а затем через отверстия перфорированных перегородок и попадает в полость корпуса. Далее, проходя между насадочными телами, ТпМ многократно делится на отдельные потоки, и наконец, через перфорированную перегородку и переходник на выходе из корпуса удаляется за его границы.



Рис. 5.2. Схема классификации смесительных элементов червячных экструдеров по конструктивным признакам

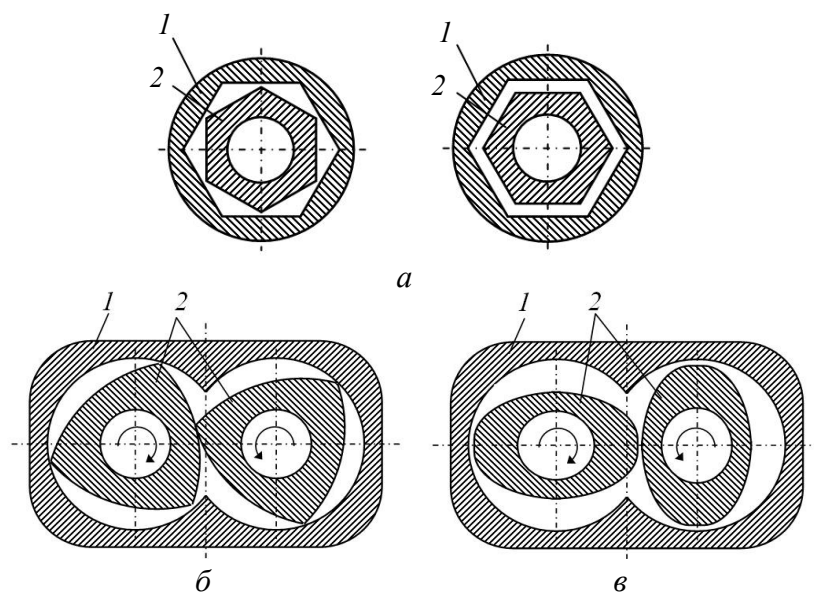


Рис. 5.3. Схема смесительных кулачков одно- и двухчервячных экструдеров шестигранной (а), треугольной (б) и овальной (в) формы [78, 101]: 1 – цилиндр; 2 – кулачки

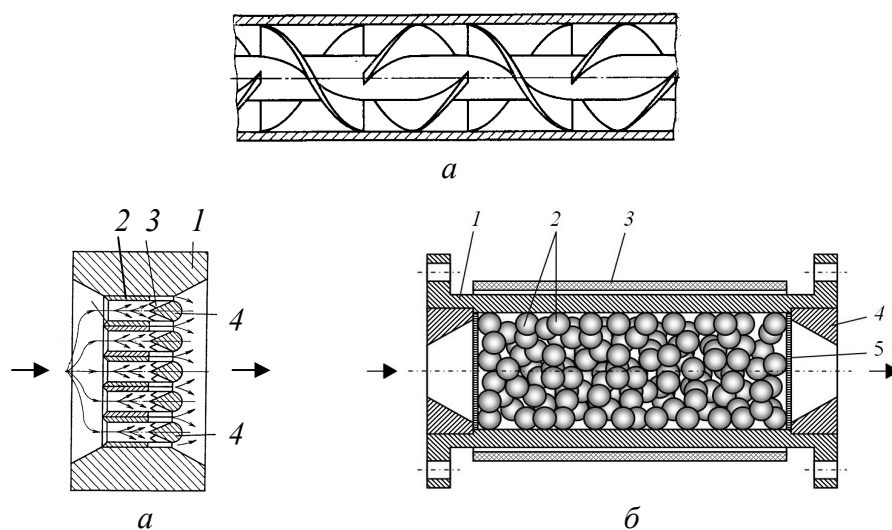


Рис. 5.4. Конструкции статических смесителей: а – в виде трубы с прерывистым двухзаходным шнеком [20, 100]; а – а.с. СССР 1781049 [5] (1 – корпус; 2 – трубка; 3 – прорези; 4 – вставка); б – пат. Украины 69843 U [79] (1 – корпус; 2 – насадочные тела; 3 – катушка индуктивности; 4 – переходник; 5 – перфорированная перегородка)

При подключении катушки индуктивности к источнику электрического тока насадочные тела вследствие индукции нагреваются. При достижении ими температуры, соответствующей точке Кюри материала насадочных тел, они теряют магнитные свойства и в результате перестают нагреваться. При дальнейшем постепенном охлаждении материал насадочных тел снова приобретает магнитные свойства, и они вновь начинают нагреваться. Таким образом, без использования сложной системы тепловой автоматики поддерживается постоянная температура насадочных тел, а, следовательно, и перерабатываемого ТпМ.

Несомненное преимущество статических смесителей – отсутствие движущихся элементов и достаточно простая эксплуатация. В то же время, они имеют и некоторые недостатки: значительное сопротивление, в ряде случаев – невысокий смесительный эффект, возможность образования застойных зон и неравномерность времени пребывания элементарных объёмов ТпМ в зоне смешения.

Наиболее распространёнными являются динамические смесители (элементы), выполняемые с одной либо несколькими подвижными рабочими поверхностями часто достаточно сложной конфигурации. В этих устройствах процесс смешения обеспечивается в первую очередь за счёт сдвигового воздействия на перерабатываемый ТпМ. Кроме того, с помощью динамических элементов нередко организуются достаточно эффективные с точки зрения смешения обратные потоки (в статических элементах наличие обратных потоков приводит к значительному увеличению гидравлического сопротивления).

В динамических элементах разнообразные выступы (штифты), выполненные на червяке, нередко имитируют его нарезку (дискретную в отличие от непосредственно непрерывной нарезки червяка): прямую (толкающую), обратную (тормозящую) либо нейтральную (рис. 5.5, 5.6).

При этом выполнение указанных штифтов съёмными позволяет достаточно просто изменять их форму и размеры, а выполнение их в виде лопаток, устанавливаемых в съёмной гильзе червяка с возможностью поворота относительно продольной оси и фиксации в заданном положении, позволяет регулировать функцию образуемой ими дискретной нарезки (обеспечивая толкающую, тормозящую либо нейтральную функцию) [77]. Также предложена достаточно простая конструкция штифтового червяка с возможностью одновременного регулирования высоты штифтов [76].

При переработке различных ТпМ широкое распространение получили диспергирующие (диспергирующе-гомогенизирующие) элементы, имеющие два вида витков нарезки: основной (толкающий, очищающий) и барьерный, диаметр которого меньше диаметра основного витка (см. рис. 5.5, б). При вращении такого элемента поток ТпМ в виде тонкого слоя проходит между гребнем барьерного витка и стенкой цилиндра экструдера и с помощью соседнего основного витка проталкивается в сторону экструзионной головки. Во время прохождения ТпМ над гребнем барьерного витка происходит интенсивное диспергирование компонентов перерабатываемого материала.

Комбинированные смесительные элементы обладают преимуществами и недостатками как статических, так и динамических смесительных устройств. В этом случае динамические элементы комбинированных смесительных устройств нередко выполняются с различными каналами: сквозными или поверхностными в виде пазов [80] (рис. 5.7, а).

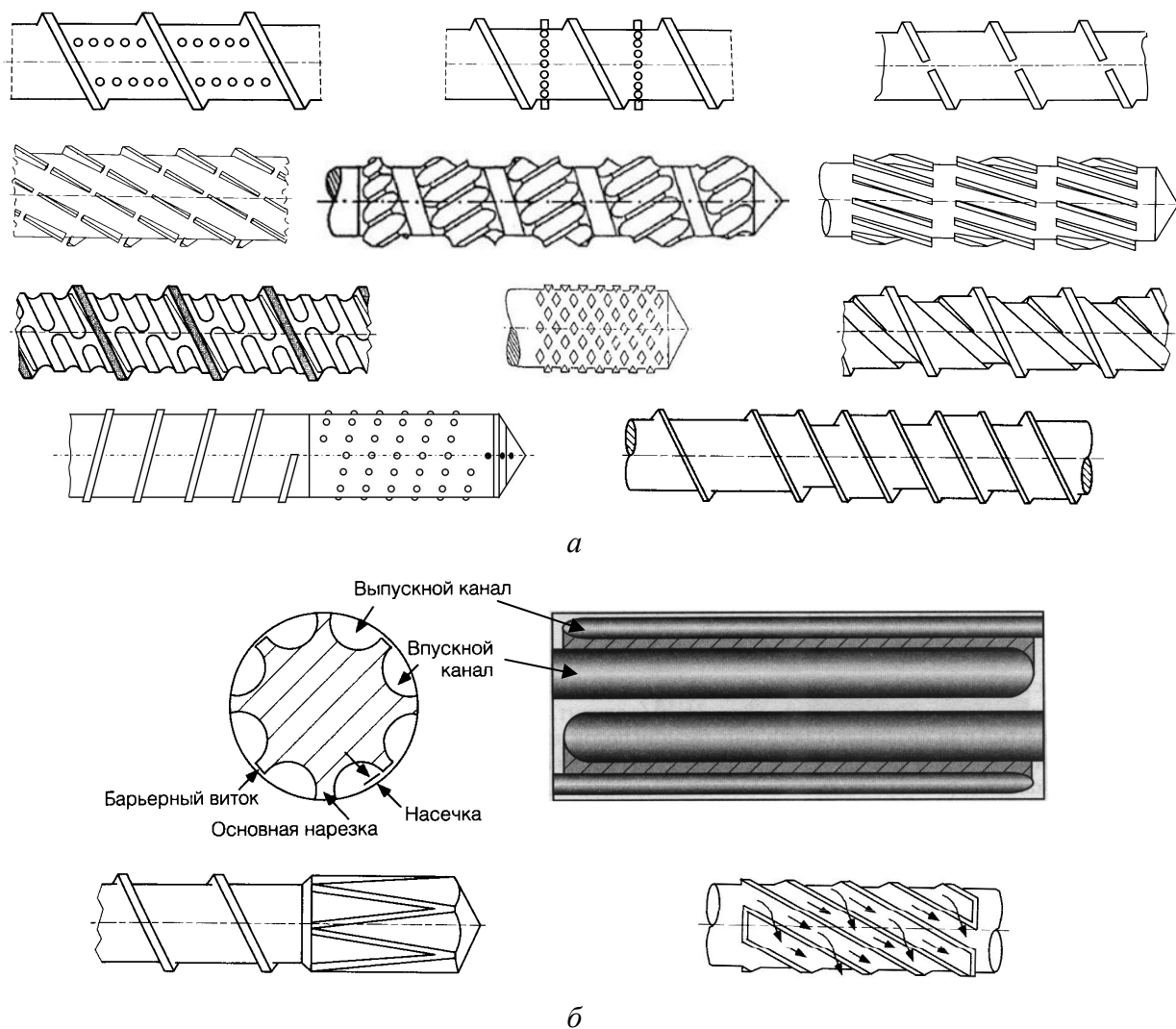


Рис. 5.5. Примеры некоторых конструкций динамических элементов [20, 92, 100, 102, 104]:
а – гомогенизирующие элементы; б – диспергирующие (диспергирующе-гомогенизирующие) элементы

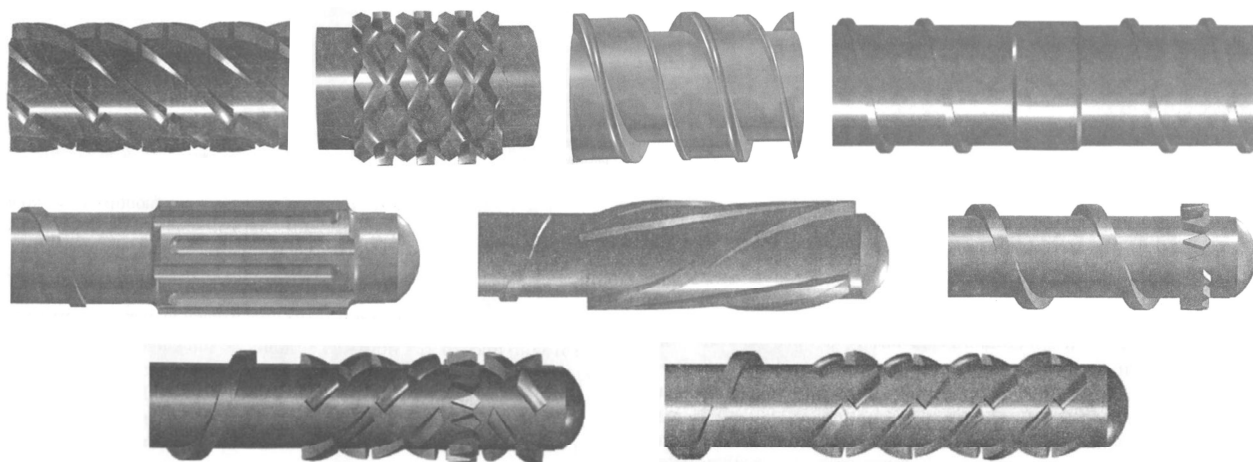


Рис. 5.6. Объёмный вид некоторых конструкций динамических элементов червяка

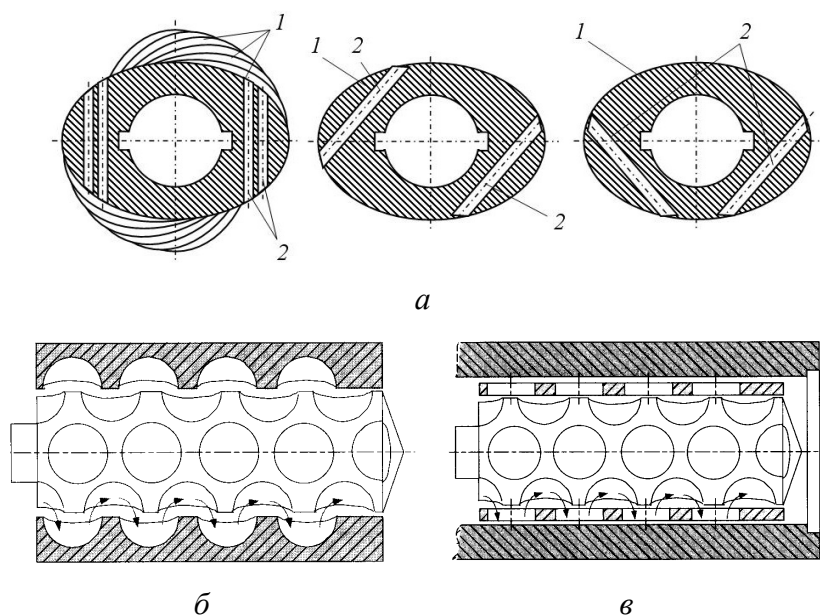


Рис. 5.7. Комбинированные смесительные элементы (динамически-статические):
а – пат. Украины 73358 U [80] (1 – смесительные кулачки; 2 – сквозные каналы);
б – смеситель типа СТМ [92]; *в* – смеситель типа ТМР [92]

Часто динамические элементы комбинированных смесительных устройств выполняются в виде конструктивной части червяка, а статические – конструктивной части корпуса экструдера (рис. 5.7, *б*) [92]. В отличие от указанного смесителя типа СТМ в смесителе типа ТМР (рис. 5.7, *в*) [92] цилиндр выполняется без углублений, что существенно упрощает его изготовление, а их роль выполняют сквозные отверстия, выполненные во втулке, свободно расположенной между цилиндром и червяком. Под действием перерабатываемого ТпМ втулка начинает вращаться; при этом, вследствие меньшей, чем у червяка скорости вращения, осуществляется интенсивное перемешивание ТпМ.

Комбинированные элементы достаточно эффективны, однако они сложны в изготовлении и эксплуатации.

По расположению относительно рабочих органов смесительные элементы подразделяют на такие, которые располагаются на червяке, корпусе экструдера, одновременно на червяке и корпусе, вне червяка и корпуса (в зазоре между ними и закреплённые, например, на экструзионной головке), а также за пределами корпуса экструдера (например, при прохождении ТпМ через выносной смесительный элемент с помощью расплавопровода, например, через смесительно-нагнетательный шестерённый насос).

Наиболее предпочтительными элементами являются такие, которые не требуют внесения существенных изменений в конструкцию базовой машины. Эти элементы чаще всего устанавливаются на одном либо обоих червяках или выполняются за одно целое с ними. Выполнение смесительных или смесительно-диспергирующих элементов за одно целое с червяком целесо-

образно в случае комплектования экструдером технологической линии стабильного производства, когда нет необходимости в переходе на другой перерабатываемый ТпМ. И наоборот, выполнение съёмных, легко заменяемых элементов обеспечивает значительную гибкость технологического оборудования в случае частой смены перерабатываемого материала, производительности или получаемого изделия.

Наиболее распространёнными смесительными элементами, устанавливаемыми на корпусе экструдера, являются радиально располагаемые в рабочем канале и проходящие через кольцевые разрывы в нарезке червяка радиальные штифты (так называемый экструдер со штифтовым цилиндром; рис. 5.8) [95, 102]. Так, в устройстве [10] указанные штифты выполнены в виде лопаток, установленных в корпусе с возможностью их поворота относительно продольной оси и фиксации в заданном положении. Такое выполнение штифтов позволяет регулировать степень из воздействия на перерабатываемый ТпМ и время его пребывания в зоне смешения.

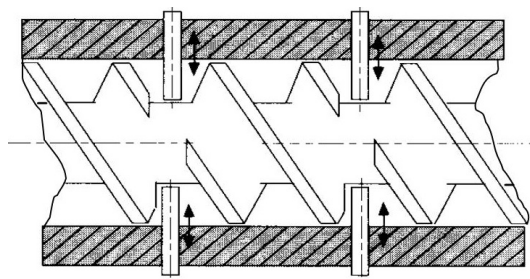


Рис. 5.8. Схема экструдера со штифтовым цилиндром

Аналогом предыдущей конструкции можно считать экструдер со смесительно-диспергирующими элементами в виде совокупности установленных между червяком и цилиндром тел качения, в частности шариков (рис. 5.9) [95].

Червячный экструдер содержит снабжённый загрузочным бункером 1 полный корпус 2, размещённый в его полости с возможностью вращения червяк 3, образующий с полостью корпуса рабочий канал 4, при этом конечный участок 5 червяка 3 выполнен в виде круглого цилиндра, а между указанным участком 5 червяка 3 и корпусом 2 размещены тела вращения 6, расположенные в кольцевой проточке 7, выполненной на конечной участке 5 червяка 3. Участок 5 червяка 3 может иметь диаметр, равный диаметру гребней нарезки червяка 3 или чуть больше его (в этом случае образованный дисково-цилиндрический элемент на конце червяка 3 существенным образом улучшает диспергирующе-смесительную способность экструдера).

Подлежащий переработке материал подают в загрузочный бункер 1 полого корпуса 2, где он захватывается нарезкой червяка 3 и далее рабочим каналом 4 транспортируется по направлению к конечному участку 5 червяка 3. Во время обтекания создаваемым расплавом тел вращения 6 осуществляется

его гомогенизация, которая повышает качество получаемой продукции. Указанные тела вращения 6 не только содействуют гомогенизации расплава, но и фиксируют червяк 3 от прогиба, а, следовательно, и стабильность кольцевой формы рабочего канала на выходе из конечного участка 5 червяка 3, что обеспечивает высокое качество экструдата.

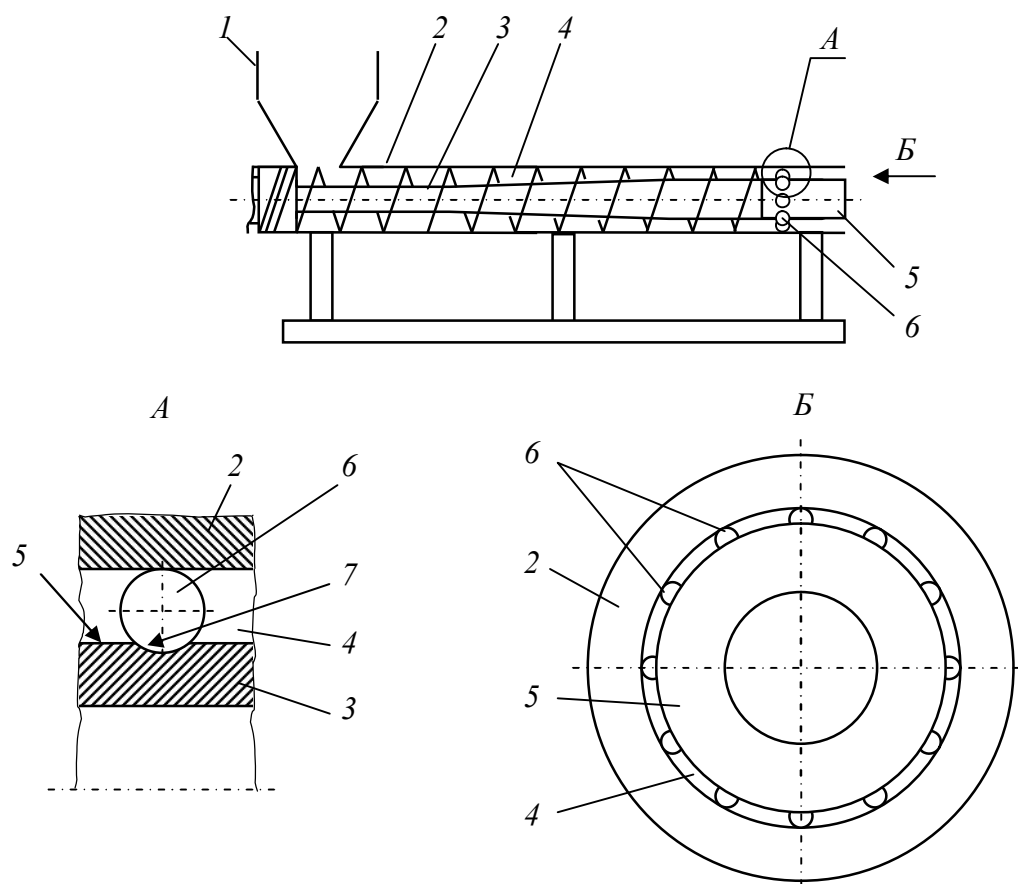


Рис. 5.9. Схема экструдера со штифтовым цилиндром (пат. Украины 98920 U) [82]

Наконец, по степени регулирования параметров смесительные элементы делятся на элементы с неизменяемыми параметрами, используемыми в экструдерах с мало изменяемыми режимами переработки (например, в крупнотоннажных производствах), и с регулируемыми параметрами. К регулируемым параметрам в первую очередь относятся геометрические (форма и размеры), а также скорость подвижных поверхностей смесительных элементов. Элементы, являющиеся частью червяка, обычно не позволяют регулировать скорость их вращения. В то же время, вращающиеся или совершающие возвратно-поступательное движение участки корпуса [8, 11] позволяют достаточно легко регулировать их скорость. Также легко регулируется скорость вращения дорнов различного типа диссипативных (сдвиговых) экструзионных головок (рис. 5.10) [8], существенным недостатком которых является сложность их изготовления и эксплуатации.

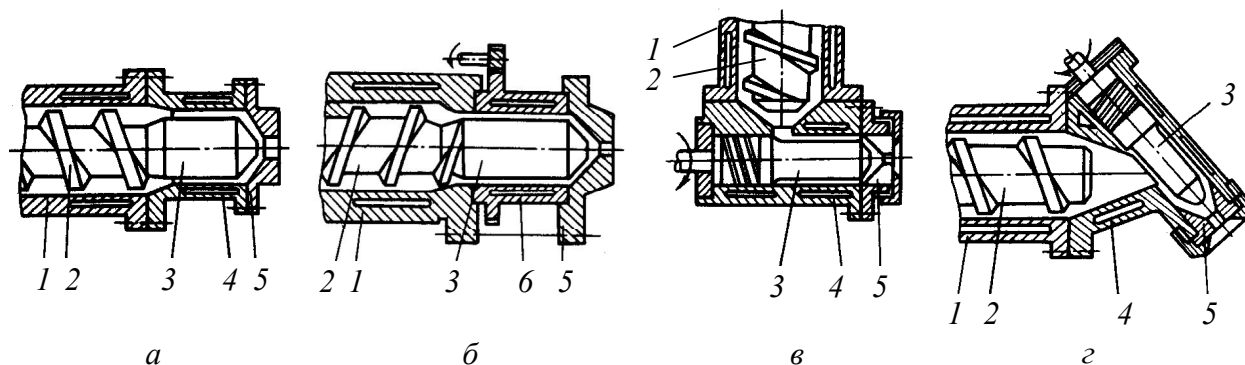


Рис. 5.10. Схемы смесительных элементов без регулирования (а) и с регулированием (б–г) относительной скорости вращения их рабочих поверхностей [8]: 1 – цилиндр; 2 – червяк; 3 – дорн; 4 – корпус головки; 5 – формующий инструмент; 6 – вращающаяся втулка

Эффективное использование существующих или разработка новых смесительных элементов червячных экструдеров предполагает проведение соответствующих экспериментальных или теоретических исследований. Это связано с тем, что при использовании данного элемента и переходе на переработку другого ТпМ или даже смене режима переработки одного и того же ТпМ параметры процесса экструзии (например, температура расплава ТпМ) могут претерпевать существенные нежелательные изменения и привести к снижению качества получаемой продукции.

5.2. Формующий инструмент

Конструкции сеточных экструзионных головок и их эксплуатация отработаны достаточно хорошо, поэтому принципиально новые технические решения в этой области практически отсутствуют.

Достаточно эффективной представляется экструзионная головка, которая содержит полый корпус 1, расположенный на его внешней поверхности 2 по меньшей мере один нагреватель 3, а также размещённый в полости корпуса 1 дорн 4, соединённый с корпусом 1 с помощью дорнодержателя 5 [81] (рис. 5.11).

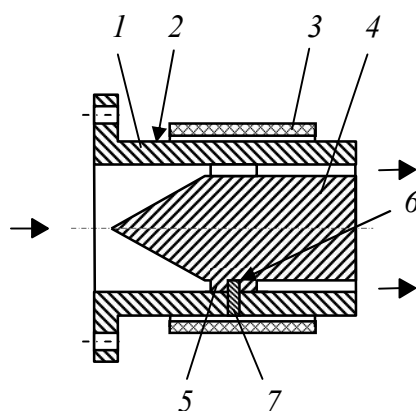


Рис. 5.11. Схема экструзионной головки с модернизированным дорнодержателем (пат. Украины 94625 U) [81]

В дорнодержателе 5 со стороны внешней поверхности 2 корпуса выполнено по меньшей мере одно глухое отверстие 6 с размещённой в нем вставкой 7, коэффициент теплопроводности материала которой больше, чем коэффициент теплопроводности материала дорнодержателя (при этом вставка 7 может быть выполнена из меди).

Расплав перерабатываемого термопластичного материала постепенно продвигается в кольцевом зазоре, образованном стенкой полости корпуса 1 и поверхностью дорна 4, при этом обтекая дорнодержатель 5. Во время работы нагревателя 3 тепловой поток распространяется в радиальном направлении внутрь корпуса 1. Наличие в дорнодержателе 5 одной или нескольких, например медных, вставок 7, обеспечивает более эффективное подведение теплового потока от нагревателя 3 к дорнодержателю 5, а, следовательно, и его повышенную температуру и меньшую вязкость прилегающих к нему слоёв расплава, что способствует повышению качества экструдированной продукции.

5.3. Выводы

Совершенствование конструкций элементов технологического и вспомогательного оборудования касается, прежде всего, оборудования для подготовки расплава: усилия изобретателей и конструкторов направлены в первую очередь на разработку эффективных смесительных и смесительно-диспергирующих элементов экструдеров.

Намного меньше внимания уделяется формующему инструменту – сеточным экструзионным головкам, что можно объяснить удовлетворительными характеристиками существующего оборудования и отработкой технологических режимов формования заготовок сеток из расплава полимера.

ВЫВОДЫ

Главный научный результат монографии – решение научно-технической проблемы создания научных принципов разработки и усовершенствования технологий, процессов и оборудования для изготовления полимерных сеток, а также разработка рекомендаций по определению рациональных конструктивных параметров оборудования и режимов его работы, а, следовательно, – экономии энергетических и материальных ресурсов.

Основные результаты выполненной работы следующие:

1. Полимерные сетки – изделия из полимеров и пластмасс с широкими возможностями использования в различных отраслях экономики и в быту. С учётом же разработки всё новых и новых полимерных материалов, образцов эффективного оборудования, а также технологических приёмов переработки полимеров в изделия можно с уверенностью говорить о ещё большем расширении областей применения полимерных сеток в самое ближайшее время.

2. Рассмотрены наиболее распространённые способы формования полимерных сеток методом экструзии. При этом показано, что новые способы получения полимерных сеток – усовершенствованные известные или принципиально новые – могут быть предложены в самое ближайшее время.

3. Выполнен анализ типовых технологических линий для получения рукавных и плоских полимерных сеток на базе червячных экструдеров. Следует отметить, что рассмотренные линии также могут быть укомплектованы и другими единицами оборудования, назначение которых определяется конструкцией и размерами получаемых сеток.

4. Широкое использование сеток из полимеров обуславливают необходимость постоянного развития и усовершенствования технологий и оборудования для их производства. Анализ известных способов и устройств для изготовления полимерных сеток показал, что наиболее рациональными на данном этапе являются способы экструзии расплава через каналы в соосно расположенных фильерах (вращающихся или осциллирующих). Реализация этих способов позволяет получить достаточно широкий ассортимент сеток.

5. Основные тенденции технического развития технологий и оборудования для производства полимерных сеток обусловлены сложной совокупностью технологических, энергетических и экономических факторов. Наиболее вероятные пути решения этой проблемы – модульный подход при создании новой техники, использование новых полимеров и композиций на их основе, а также комплектация технологических линий в целом и их отдельных единиц оборудования эффективными средствами автоматизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *А.с. СССР 417307*, МПК В29f 3/04. 1974.
2. *А.с. СССР 576025*, МПК В29D 7/02. 1977.
3. *А.с. СССР 882760*, МПК В29D 23/05. 1981
4. *А.с. СССР 1451039*, МПК В29С 47/18. 1989.
5. *А.с. СССР 1781049*, МПК В29С 7/30. 1992.
6. *Активирующее смешение в процессах получения и модифицирования полимерных композиционных материалов* / В. П. Бритов, В. В. Богданов, О. О. Николаев, А. Е. Туболкин // Журнал прикладной химии. — 2004. — Т. 77, Вып. 1. — С. 122—127.
7. *Внедрение экструзионной головки для производства армированных плёнок из полиэтилена : отчёт о НИР (заключ.)* : 748 / Киев. политехн. ин-т ; рук. В. В. Гончаренко ; исп.: В. В. Гончаренко, Н. А. Полищук, Н. В. Яськова, А. Р. Алексейчук. — К., 1986. — 56 с. — № 01822075990.
8. *Говша А. Г.* Состояние, перспективы применения и развития одночервячных резиноперерабатывающих машин : [обзор. информ.] / А. Г. Говша, В. В. Бастрыгин, А. В. Остроухов. — М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1986. — 44 с. (Сер. ХМ-2 «Оборудование для переработки пластмасс и резины»).
9. *Заявка Германии 1296377В*, НКИ 39а3 31/00. 1969.
10. *Заявка Германии 102006009867 А1*, МПК В29С 47/64. 2006.
11. *Заявка Германии 102006023835 А1*, МПК В29С 47/66. 2006.
12. *Заявка Канады 2096142А1*, МПК В29С 47/12, 1993.
13. *Заявка США 2012/261075А1*, МПК В29С 70/24, 2012.
14. *Ким В. С.* Диспергирование и смешение в процессах производства и переработки полимеров / В. С. Ким, В. В. Скачков. — М. : Химия, 1988. — 240 с.
15. *Лукач Ю. Е.* Оборудование для производства полимерных пленок / Ю. Е. Лукач, А. Д. Петухов, В. А. Сенатос. — М. : Машиностроение, 1981. — 224 с.
16. *Лукашова В. В.* Екструзія пінополімерів / В. В. Лукашова, І. О. Мікульоньок, Л. Б. Радченко : монографія. — К. : НТУУ «КПІ», 2011. — 175 с.
17. *Международная заявка WO2015/136536A2*, МПК В29С 47/02, 2015.
18. *Международная заявка WO2011/073730A1*, МПК D04С 5/06, 2011.
19. *Микулёнок И. О.* Классификация процессов и оборудования для производства непрерывных изделий из термопластичных материалов / И. О. Микулёнок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2015. — № 1. — С. 11—14.
20. *Микулёнок И. О.* Смесительные и диспергирующие элементы червячных экструдеров / И. О. Микулёнок // Химическое и нефтегазовое машиностроение. — 2013. — № 2. — С. 26—30.

21. Мікульонок І. О. Класифікація процесів та обладнання одержання безперервних виробів з термопластичних матеріалів / І. О. Мікульонок // Вісник НТУУ «КПІ». Напрямок «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». — 2010. — № 2 (6). — С. 5—11.
22. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія / І. О. Мікульонок. — К. : ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. — 265 с.
23. Мікульонок І. О. Переробка вторинної сировини екструзією : монографія / І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. — К. : ІВЦ «Видавництво „Політехніка”», 2006. — 184 с.
24. Мікульонок І. О. Процеси та обладнання перероблення термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.17.08 «процеси та обладнання хімічної технології» / Мікульонок Ігор Олегович. — К., 2009. — 388 с.
25. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей : навч. посіб. / І. О. Мікульонок. — К. : НТУУ «КПІ», 2015. — 312 с.
26. Осипова Г. С. Оценка эксплуатационных свойств плёночных материалов для теплиц / Г. С. Осипова // Пластические массы. — 1989. — № 3. — С. 35—37.
27. Пат. Англии 836556, МПК В29d. 1960.
28. Пат. Англии 887283, МПК В29d. 1962.
29. Пат. Англии 941283, МПК В29d. 1963.
30. Пат. Англии 955543, МПК В29d. 1964.
31. Пат. Англии 1072113, МПК В29d. 1967.
32. Пат. Англии 1285607, МПК В29F 3/04. 1972.
33. Пат. Англии 1288256, МПК D04H 3/16. 1972.
34. Пат. Англии 1289716, МПК В29D 31/00. 1972.
35. Пат. Англии 1321223, МПК В29D 23/04. 1973.
36. Пат. Англии 2048971, МПК D06M 15/16. 1980.
37. Пат. Германии 1080293, МПК В29f. 1960.
38. Пат. Германии 1129277, МПК В29d. 1962.
39. Пат. Китая 2528606Y, МПК В29C 47/12. 2003.
40. Пат. Китая 2880460Y, МПК В29C 47/12. 2007.
41. Пат. Китая 202219586U, МПК В29C 47/12. 2012.
42. Пат. Китая 202344809U, МПК В29C 47/12. 2012.
43. Пат. Китая 202623234U, МПК В29C 47/12. 2012.
44. Пат. Китая 203371803U, МПК В29D 28/00. 2014.
45. Пат. Китая 203371804U, МПК В29D 28/00. 2014.
46. Пат. Китая 204152304U, МПК В29D 28/00. 2015.
47. Пат. РФ 68504U, МПК C08L 23/02. 2007.

48. Пат. РФ 99008U1, МПК E01C 5/00. 2010.
49. Пат. РФ 135583U, МПК B29D 28/00. 2013.
50. Пат. РФ 2085386, МПК B29D 7/01. 1997.
51. Пат. РФ 2317200, МПК B29C 47/24. 2008.
52. Пат. РФ 2333101, МПК B29B 28/00. 2008.
53. Пат. РФ 2333102, МПК B29C 47/24. 2008.
54. Пат. РФ 2508423, МПК D04C 5/06. 2014.
55. Пат. РФ 2515441, МПК B29D 28/00. 2014.
56. Пат. США 3012275, НКИ 18–12. 1961.
57. Пат. США 3089804, НКИ 156–167. 1963.
58. Пат. США 3118180, НКИ 18–13. 1964.
59. Пат. США 3123512, НКИ 156–441. 1964.
60. Пат. США 3127298, НКИ 156–441. 1964.
61. Пат. США 3134138, НКИ 18–9. 1964.
62. Пат. США 3227184, НКИ 138–125. 1966.
63. Пат. США 3228063, НКИ 18–12. 1966.
64. Пат. США 3247039, НКИ 156–167. 1966.
65. Пат. США 3308220, НКИ 264–167. 1967.
66. Пат. США 3477892, МПК D04h 3/16. 1969.
67. Пат. США 3512215, МПК B26d 23/00. 1970.
68. Пат. США 3538545, МПК B29f 3/00. 1970.
69. Пат. США 3604055, МПК B29f 3/00. 1971.
70. Пат. США 3616080, МПК B29b 5/04. 1971.
71. Пат. США 3700521, МПК B29c 19/00. 1972.
72. Пат. США 3767353, МПК B29f 3/04. 1973.
73. Пат. США 3782872, МПК B29f 3/12. 1974.
74. Пат. США 4618385, МПК B29C 55/06. 1986.
75. Пат. Украины 27358C2, МПК B29C 47/20. 2000.
76. Пат. Украины 47082 U, МПК B29C 47/60. 2010.
77. Пат. Украины 53891 U, МПК B29C 47/60. 2010.
78. Пат. Украины 54803 U, МПК B29C 47/38. 2010.
79. Пат. Украины 69843 U, МПК B29C 47/32. 2012.
80. Пат. Украины 73358 U, МПК B29C 47/60. 2012.
81. Пат. Украины 94625 U, МПК B29C 47/20. 2014.
82. Пат. Украины 98920 U, МПК B29C 47/20. 2015.
83. Пат. Украины 105509, МПК B29D 28/00. 2014.
84. Пат. Тайваня 224953B, МПК B29D 28/00. 1993.
85. Пат. Франции 1357630, МПК B29f. 1964.
86. Пат. Франции 2098500, МПК B29C 17/00. 1973.
87. Пат. Франции 2342836, МПК B29D 23/4. 1973.
88. Пат. Японии JPS5591636A, МПК B29D 23/06. 1980.

89. *Петухов А. Д.* Оборудование для изготовления полимерных сеток: [обзор. информ.] / А. Д. Петухов, И. В. Четвертухин. — М. : ЦИНТИхимнефтемаш, 1977. — 29 с. (Сер. ХМ-2 «Оборудование для переработки пластмасс и резины»).
90. *Петухов А. Д.* Технології виготовлення полімерних сіток (стан, результати досліджень, перспективи вдосконалення) / А. Д. Петухов, С. М. Якименко // Упаковка. — 2005. — № 1. — С. 16—19 ; № 2. — С. 16—19 ; № 3. — С. 22—23.
91. *ПолимерХимПром.* Полимерные сетки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://polimerhimprom-ooo.fis.ru/product/10661204-polimernye-setki>. — Дата доступа: 05.10.2015. — Название с экрана.
92. *Раувендааль К.* Экструзия полимеров / К. Раувендааль ; пер. с англ. под ред. А. Я. Малкина. — СПб. : Профессия, 2006. — 768 с.
93. *Торнер Р. В.* Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. — М. : Химия, 1986. — 400 с.
94. *ТСК.* Пластиковые сетки, решётки, геосетки плоские и объёмные [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.osb-3.ru/price3.html>. — Дата доступа: 05.10.2010. — Название с экрана.
95. *Шенкель Г.* Шнековые прессы для пластмасс. Принцип действия, конструирования и эксплуатации / Г. Шенкель. — Л. : Госхимиздат, 1962. — 467 с.
96. *Эксплуатационная оценка плёночных материалов для теплиц* / В.А. Брызгалов, Г.С. Осипова, Т.И. Завьялова и др. // Пластические массы. — 1984. — № 10. — С. 53—54.
97. *Энциклопедия полимеров: в 3 т.: Т. 2: Д — Полинозные волокна* / редкол.: Кабанов В. А. (гл. ред.) и др. — М. : Сов. энцикл., 1974. — 1032 стб. с илл.
98. *Integrator-99.* Оборудование для производства пластиковой сетки GSB-Z1000 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://integrator.by/equip_line_setka.html. — Дата доступа: 24.10.2015 г. — Название с экрана.
99. *Mikulionok I. O.* Classification of Processes and Equipment for Manufacture of Continuous Products from Thermoplastic Materials / I.O. Mikulionok // Chemical and Petroleum Engineering. — 2015. — Vol. 51, Nos 1—2 (May). — P. 14—19 (DOI: 10.1007/s10556-015-9990-6).
100. *Mikulionok I. O.* Screw extruder mixing and dispersing units / I.O. Mikulionok // Chemical and Petroleum Engineering. — 2013. — Vol. 49, Nos 1—2 (May). — P. 103—109 (DOI: 10.1007/s10556-013-9711-y).
101. *Mikulionok I. O.* Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw Extrusion / I. O. Mikulionok, L. B. Radchenko // Russian Journal of Applied Chemistry. — 2012. — Vol. 85, N 3. — P. 489—509.

102. *Rauwendaal C.* Understanding Extrusion / C. Rauwendaal. — Munich : Carl Verlag, 1998. — 190 p.
103. *Taian modern plastic Co., Ltd.* [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.tamodern.com.cn>. — Дата доступа: 24.10.2015 г. — Название с экрана.
104. *Todd D. B.* Improving incorporation of fillers in plastics. A special report / D. B. Todd // *Adv. Polym. Technol.* — 2000. — Vol. 19, N 1. — P. 54—64.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Перечень основных сокращений	4
1. Классификация и области применения полимерных сеток	5
1.1. Классификация полимерных сеток	5
1.2. Материалы для изготовления полимерных сеток	9
1.3. Области применения полимерных сеток	10
1.3.1. Упаковка	10
1.3.2. Машиностроение и приборостроение	10
1.3.3. Строительство	10
1.3.4. Сельское хозяйство и животноводство	12
1.3.5. Химическая и текстильная отрасли промышленности	13
1.3.6. Рыбная ловля и рыбоводство	13
1.3.7. Другие области применения	13
1.4. Выводы	14
2. Методы изготовления и оборудование для формования полимерных сеток	15
2.1. Общие сведения	15
2.2. Способ получения полимерных сеток из экструдированного сплошного рулонного материала с формованием из него сетки	15
2.3. Способ получения полимерных сеток сплетением предварительно полученных экструзией стренг (нитей, полос) как отдельных изделий с последующей термосваркой продольных и поперечных стренг (нитей, полос) между собой	16
2.4. Способ получения полимерных сеток сплетением, скруткой или связыванием предварительно полученных экструзией стренг (нитей, полос) как отдельных изделий без последующей их термосварки между собой	16
2.5. Способ получения полимерных сеток из экструдированных стренг с помощью фильер, обеспечивающих их попарное колебательное движение относительно механизма сварки стренг между собой	16
2.6. Способ получения плоских полимерных сеток заполнением расплавом рельефного узора на поверхности вращающегося цилиндра	17
2.7. Способ получения плоских полимерных сеток заполнением расплавом рельефного узора на поверхностях прилегающих друг к другу двух встречно вращающихся цилиндров	18
2.8. Способ получения рукавных полимерных сеток с ромбическими ячейками экструзией расплава через продольные отверстия в соосно расположенных и вращающихся в противоположных направлениях фильерах, а также внешним соединением стренг между собой	19
2.9. Способ получения рукавных полимерных сеток с практически прямоугольными ячейками экструзией расплава через каналы в соосно расположенных фильерах, одна из которых неподвижна, а вторая вращается; при этом в неподвижной фильере отверстия выполнены продольными, а во вращающейся – спиральными ..	21
2.10. Способ получения рукавных полимерных сеток с треугольными ячейками экструзией расплава через отверстия в соосно расположенных фильерах, одна из которых неподвижна, а вторая совершает круговые колебания	22
2.11. Способ получения рукавной полимерной плёнки, армированной полимерной сеткой с ромбическими ячейками, экструзией расплава через плёночно-сеточную головку	22

2.12. Способ получения рукавных полимерных сеток навивкой экструдированных стренг или полос на вращающуюся цилиндрическую оправку	23
2.13. Способ получения плоских и рукавных полимерных сеток с прямоугольными (в том числе квадратными) ячейками экструзией расплава через каналы формующего инструмента, осуществляющего осциллирующее движение в направлении экструзии	24
2.14. Выводы	26
3. Сеточные технологические линии и агрегаты для производства полимерных сеток	28
3.1. Общие сведения	28
3.2. Подготовка сырья	28
3.3. Подготовка расплава	28
3.4. Формование заготовки сетки	29
3.5. Охлаждение сетки	29
3.6. Намотка неориентированной сетки	29
3.7. Ориентация и термообработка ориентированной сетки	30
3.8. Намотка ориентированной сетки	30
3.9. Технологические линии и агрегаты	30
3.10. Выводы	38
4. Особенности технологии полимерных сеток	39
4.1. Общие сведения	39
4.2. Изготовление армированной сеткой рукавной плёнки из полиэтилена	41
4.3. Выводы	51
5. Усовершенствование оборудования для производства полимерных сеток	52
5.1. Подготовка расплава	52
5.2. Формующий инструмент	62
5.3. Выводы	63
Выводы	64
Список использованных источников	65

Научное издание

Микулёнок Игорь Олегович
Петухов Аркадий Демьянович

ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРНЫХ СЕТОК

Монография

*В авторской редакции
Напечатано с оригинал-макета заказчика*

Микулёнок Игорь Олегович



Доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, заслуженный изобретатель Украины, профессор кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

С отличием окончил Киевский политехнический институт (1986 г.), инженер-механик (машины и аппараты химических производств); Харьковский государственный политехнический университет (1995 г.), патентовед-маркетолог.

С 1984 года тесно сотрудничает с лидером отечественного полимерного и химического машиностроения – Публичным акционерным обществом «Научно-производственное объединение „Большевик“» (г. Киев).

Научные интересы: процессы и оборудование химической технологии и переработки термопластичных материалов, история науки, техники и технологии.

Пстухов Аркадій Дем'янович

Доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, заслуженный изобретатель Украинской ССР, профессор кафедры химической технологии композиционных материалов Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

С отличием окончил Московский технологический институт лёгкой промышленности (1959 г.), инженер-технолог (технология искусственной кожи).

С 1959 по 2004 гг. работал в Украинском научно-исследовательском институте по разработке машин и оборудования по переработке пластических масс, резины и искусственной кожи (УкрНИИпластмаш, г. Киев) на различных должностях – от инженера-конструктора до заместителя директора по научной работе.

Был главным конструктором Министерства тяжёлого машиностроения СССР по экструзионному оборудованию.

Научные интересы: технология и оборудование экструзионной переработки полимеров и пластмасс.

